

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

JC978 U.S. PRO
09/987719
11/15/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日
Date of Application:

2001年 5月11日

出 願 番 号
Application Number:

特願2001-142370

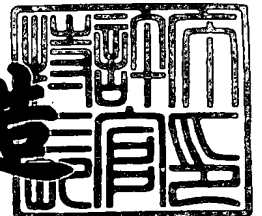
出 願 人
Applicant(s):

沖電気工業株式会社

2001年 8月31日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3077617

【書類名】 特許願

【整理番号】 OH003650

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 7/02

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気工業株式会社内

【氏名】 岡山 秀彰

【特許出願人】

【識別番号】 000000295

【氏名又は名称】 沖電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100085419

【弁理士】

【氏名又は名称】 大垣 孝

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2000-348577

【出願日】 平成12年11月15日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 012715

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9001068

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光スイッチ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数個の光入力ポートを有する入力側スイッチ要素と、複数個の光出力ポートを有する出力側スイッチ要素とを備え、前記光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、前記光出力ポートのいずれかから出力させる光スイッチにおいて、

前記入力側スイッチ要素は、前記光入力ポートの各々に、光信号の入射方向に沿って配置された複数個の光偏向素子からなる入力側光偏向素子群を備え、

前記出力側スイッチ要素は、前記光出力ポートの各々に、光信号の出射方向に沿って配置された複数個の光偏向素子からなる出力側光偏向素子群を備えることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の光スイッチにおいて、

前記入力側および出力側光偏向素子群は、前記光信号の入射方向または出射方向に垂直な面内で移動可能な、焦点距離の異なる少なくとも 2 枚の可動レンズを前記光偏向素子として備えることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 3】 請求項 1 に記載の光スイッチにおいて、

前記入力側および出力側光偏向素子群は、前記光信号の入射方向または出射方向に垂直な面内で移動可能な可動レンズと、前記光信号の入射方向または出射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラーとを前記光偏向素子として備えることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 4】 複数個の光入力ポートと複数個の光出力ポートとを有しており、前記光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、前記光出力ポートのいずれかから出力させる光スイッチにおいて、

前記光入力ポートの各々に入力側光偏向素子を備え、

前記光出力ポートの各々に出力側光偏向素子を備え、

前記光入力ポートに接続された入力側光ファイバと、前記光出力ポートに接続された出力側光ファイバとを備えていて、

前記光入力ポートおよび光出力ポートに、それぞれ前記入力側光ファイバおよび出力側光ファイバの光入出力角を拡大するための光学系を備えることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 5】 請求項 4 に記載の光スイッチにおいて、
前記光学系を、前記入力側光ファイバおよび出力側光ファイバの各々の端面に形成された凹面形状の端面とする
ことを特徴とする光スイッチ。

【請求項 6】 請求項 5 に記載の光スイッチにおいて、
前記光学系を、前記入力側光ファイバおよび出力側光ファイバの各々の端面に形成された凸面形状の端面とする
ことを特徴とする光スイッチ。

【請求項 7】 複数個の光入力ポートと複数個の光出力ポートとを有しており、前記光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、前記光出力ポートのいずれかから出力させる光スイッチにおいて、
前記光入力ポートの各々に入力側光偏向素子を備え、
前記光出力ポートの各々に出力側光偏向素子を備え、
前記光入力ポートに接続された入力側光ファイバと、前記光出力ポートに接続された出力側光ファイバとを備えていて、
前記光入力ポートおよび光出力ポートに、光のビーム径を拡大するための光学系を備える
ことを特徴とする光スイッチ。

【請求項 8】 請求項 7 に記載の光スイッチにおいて、
前記光学系が、前記入力側光ファイバおよび出力側光ファイバの各々の端部に結合されたカプラと、該カプラの端面に対向して設けられ、該カプラの端面に平行な面内に配置された複数個のレンズとで構成される
ことを特徴とする光スイッチ。

【請求項 9】 複数個の光入力ポートと複数個の光出力ポートとを有しており、前記光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、前記光出力ポートのいずれかから出力させる光スイッチにおいて、

前記光入力ポートの各々に、光信号の入射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラーを入力側光偏向素子として備え、

前記光出力ポートの各々に、光信号の出射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラーを出力側光偏向素子として備え、

前記入力側光偏向素子および出力側光偏向素子間に、入力側の前記可動ミラーで反射された光を出力側の前記可動ミラーに集光するための光学素子が設けられる

ことを特徴とする光スイッチ。

【請求項 1 0】 請求項 9 に記載の光スイッチにおいて、

前記光学素子が、前記入力側光偏向素子および出力側光偏向素子間における光経路に対応して個別に設けられる

ことを特徴とする光スイッチ。

【請求項 1 1】 複数の光入力ポートを有する入力側スイッチ要素と、複数の光出力ポートを有する出力側スイッチ要素を備え、前記光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、前記光出力ポートのいずれかから出力させる光スイッチにおいて、

前記入力側スイッチ要素と前記出力側スイッチ要素との間に配設されていて、前記入力ポートからの各光信号が、入射光として入射され、かつ、該入射光に対応する出射光を、各光線束の中心光路が互いに平行となるように、出射させる光学素子を備えること

を特徴とする光スイッチ。

【請求項 1 2】 請求項 1 1 に記載の光スイッチにおいて、前記光学素子として、凸レンズを用い、

前記入力側スイッチ要素は、前記凸レンズの焦平面に設置してあり、

前記光学素子を挟んでその前後に対称的に、前記出力側スイッチ要素と前記入力側スイッチ要素とを配置してあること

を特徴とする光スイッチ。

【請求項 1 3】 請求項 1 1 に記載の光スイッチにおいて、前記光学素子として、ホログラムを用い、

前記入力側スイッチ要素は、前記ホログラムの焦平面に設置してあり、
前記光学素子を挟んでその前後に対称的に、前記出力側スイッチ要素と前記入力側スイッチ要素とを配置してあること
を特徴とする光スイッチ。

【請求項 1 4】 請求項 1 1 に記載の光スイッチにおいて、前記光学素子として凹面鏡を用い、

前記入力側スイッチ要素は、前記凹面鏡の焦平面に設置するとともに、
前記出力側スイッチ要素を前記入力側スイッチ要素で共用させてあること
を特徴とする光スイッチ。

【請求項 1 5】 請求項 1 2、1 3 及び 1 4 のいずれか一項に記載の光スイッチにおいて、

前記複数個の入力ポートの各々は、該入力ポートにそれぞれ対応付けられた入力側レンズ系を有し、

前記複数個の出力ポートの各々は、該出力ポートにそれぞれ対応付けられた出力側レンズ系を有していて、

前記入力側レンズ系から前記出力側スイッチ要素へ光が出射する面、及び前記入力側スイッチ要素から前記出力側レンズ系へ光が入射する面には、凹レンズが設置されていること
を特徴とする光スイッチ。

【請求項 1 6】 請求項 1 5 に記載の光スイッチにおいて、前記入力側レンズ系及び前記出力側レンズ系は、それぞれ、

固定レンズもしくは前記光信号の入射方向または出射方向に垂直な面内で移動可能な可動レンズと、前記光信号の入射方向または出射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラーとから構成されていること
を特徴とする光スイッチ。

【請求項 1 7】 請求項 1 6 に記載の光スイッチにおいて、前記入力側レンズ系及び前記出力側レンズ系は、それぞれ、前記固定レンズもしくは前記可動レンズと前記可動ミラーとの間に凹レンズを設置してあること
を特徴とする光スイッチ。

【請求項 1 8】 請求項 1 2 に記載の光スイッチにおいて、前記凸レンズは、前記入力側スイッチ要素および出力側スイッチ要素間における光経路に対応して個別に設けられる第 1 凸レンズと、

該第 1 凸レンズを挟んで形成される第 2 凸レンズとから成り、

前記複数個の入力ポートの各々は、該入力ポートにそれぞれ対応付けられた入力側レンズ系を有し、

前記複数個の出力ポートの各々は、該出力ポートにそれぞれ対応付けられた出力側レンズ系を有していて、

前記入力側レンズ系及び前記出力側レンズ系は、それぞれ、

固定レンズもしくは前記光信号の入射方向または出射方向に垂直な面内で移動可能な可動レンズと、前記光信号の入射方向または出射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラーとから構成されていること

を特徴とする光スイッチ。

【請求項 1 9】 請求項 1 3 に記載の光スイッチにおいて、

前記複数個の入力ポートの各々は、該入力ポートにそれぞれ対応付けられた入力側レンズ系を有し、

前記複数個の出力ポートの各々は、該出力ポートにそれぞれ対応付けられた出力側レンズ系を有していて、

前記入力側レンズ系及び前記出力側レンズ系は、それぞれ、

固定レンズもしくは前記光信号の入射方向または出射方向に垂直な面内で移動可能な可動レンズと、前記光信号の入射方向または出射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラーとから構成されていること

を特徴とする光スイッチ。

【請求項 2 0】 マトリックス配列された複数の入力ポートを有する入力側スイッチ要素と、

マトリックス配列された複数の出力ポートを有する出力側スイッチ要素とを備え、

前記入力ポートの各々は、該入力ポートにそれぞれ対応付けられた入力側レンズ系を有し、

前記出力ポートの各々は、該出力ポートにそれぞれ対応付けられた出力側レンズ系を有していて、

前記入力ポート側から前記出力ポート側に光信号を出力させる光スイッチにおいて、

前記入力側及び出力側レンズ系のうち、前記マトリックス配列の少なくとも周縁側の入力側及び出力側レンズ系を、該周縁側の入力側レンズ系を通る光信号を前記マトリックス配列の中心側の出力側レンズ系に導くことが出来るように動作する固定もしくは可動レンズ系とすること
を特徴とする光スイッチ。

【請求項 2 1】 請求項 2 0 に記載の光スイッチにおいて、前記入力側レンズ系及び前記出力側レンズ系は、それぞれ、前記光信号の入力方向または出力方向に垂直な面内で移動可能な、焦点距離の異なる少なくとも 2 枚の可動レンズより構成されること
を特徴とする光スイッチ。

【請求項 2 2】 請求項 2 0 に記載の光スイッチにおいて、
前記入力側レンズ系及び前記出力側レンズ系は、それぞれ、固定レンズもしくは前記光信号の入射方向または出射方向に垂直な面内で移動可能な可動レンズと、前記光信号の入射方向または出射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラーとから構成されていて、

前記入力ポートからの各光信号が、入射光として入射され、かつ、該入射光に対応する出射光を集光するための光学素子が、前記入力側スイッチ要素と前記出力側スイッチ要素との間に、配設されていること
を特徴とする光スイッチ。

【請求項 2 3】 請求項 2 2 に記載の光スイッチにおいて、前記光学素子は、前記入力側光偏向素子および出力側光偏向素子間における光経路に対応して個別に設けられている
ことを特徴とする光スイッチ。

【請求項 2 4】 請求項 2 2 に記載の光スイッチにおいて、前記光学素子として、平面鏡を用いるとともに、

前記入力側スイッチ要素を、前記出力側スイッチ要素で共用していることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 2 5】 複数の光入力ポートを有する入力側スイッチ要素と、複数の光出力ポートを有する出力側スイッチ要素とを備え、前記光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、前記光出力ポートのいずれかから出力させる光スイッチにおいて、

前記入力側スイッチ要素は、第 1 及び第 2 光ユニットを備え、及び

前記出力側スイッチ要素は、第 3 及び第 4 光ユニットを備えており、

前記第 1 光ユニットは、入力側導光路と、該入力側導光路からの光信号を集光する入射側レンズ系との組合せを、前記光入力ポートの各々に対応付けて複数対備え、

前記第 2 光ユニットは、前記レンズ系と対応付けて設けられ、これらレンズ系からの光信号を反射させる複数の第 1 可動ミラーを備え、

前記第 3 光ユニットは、前記第 2 光ユニットの可動ミラーからの光信号を個別に反射させる複数の第 2 可動ミラーを備え、

前記第 4 光ユニットは、前記第 2 可動ミラーからの光信号を集光する出射側レンズ系と、該レンズ系から光信号が入射する出力側導光路との組合せを、前記光出力ポートの各々に対応付けて複数対備えていることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 2 6】 請求項 2 5 に記載の光スイッチにおいて、前記第 1、第 2、第 3、第 4 光ユニットは、共通の基板上に設けられていることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 2 7】 請求項 2 5 または 2 6 に記載の光スイッチにおいて、
前記第 1 光ユニット内では、
前記入力側導光路が第 1 基板に固定されており、及び前記入射側レンズ系も第 2 基板に固定されており、
前記第 4 光ユニット内では、
前記出射側レンズ系が第 3 基板に固定されており、及び前記出力側導光路も第 4 基板に固定されていること

を特徴とする光スイッチ。

【請求項 2 8】 請求項 2 7 に記載の光スイッチにおいて、前記第 1 基板から前記第 4 基板は、熱膨張係数が同一の基板であることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 2 9】 請求項 2 6 または 2 7 に記載の光スイッチにおいて、前記前記第 1 基板から前記第 4 基板、さらに前記共通基板の熱膨張係数が同一であることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 3 0】 請求項 2 7 に記載の光スイッチにおいて、前記第 1 基板から前記第 4 基板は、小さい熱膨張係数を有する基板であることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 3 1】 請求項 2 6 または 2 7 に記載の光スイッチにおいて、前記前記第 1 基板から前記第 4 基板、さらに前記共通基板が、小さい熱膨張係数であることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 3 2】 スイッチング用可動部を有する光スイッチと、該光スイッチからの出射光をモニターするモニタ部と、該モニタ部からのモニタ信号に応答して、前記スイッチング用可動部を制御することにより、前記光スイッチのスイッチングの制御状態を調整するための動作制御部とを備えることを特徴とする光スイッチ装置。

【請求項 3 3】 請求項 3 2 に記載の光スイッチ装置において、前記スイッチング用可動部は、前記光スイッチへ光信号を入力する光信号導入手段を有し、前記モニタ部は、光信号分配部を備える光信号出力手段と、モニタとを有して、

前記光信号分配部は、前記モニタ及び当該光スイッチ装置の外部に、前記光スイッチから出力した前記光信号を分配して、出力することを特徴とする光スイッチ装置。

【請求項 3 4】 請求項 3 3 に記載の光スイッチ装置において、前記光信号導入手段は、監視用信号出力源と、信号合成部とを有して、

前記信号合成部は、前記監視用信号出力源より出力された監視用信号と入力された前記光信号とを、ひとつの合成信号にした後前記光スイッチへ入力させ、

前記光信号分配部は、前記光スイッチから出力された前記合成信号から前記光信号のみを取りだして、光スイッチ装置の外部へ出力するためのフィルターを具えていることを

特徴とする光スイッチ装置。

【請求項 3 5】 請求項 3 4 に記載の光スイッチ装置において、前記監視用信号出力源の動作は、前記動作制御部によって制御されることを特徴とする光スイッチ装置。

【請求項 3 6】 請求項 3 2 に記載の光スイッチ装置において、
前記光スイッチは、第 1 の光スイッチと第 2 の光スイッチを有していて、
前記スイッチング用可動部は、前記第 1 の光スイッチ及び前記第 2 の光スイッチへ光信号を入力するために、互いに同一構成の第 1 の光信号導入手段と第 2 の光信号導入手段を有し、

前記モニタ部は、互いに同一構成の第 1 の光信号出力手段と第 2 の光信号出力手段を有しており、

前記第 1 及び第 2 の光信号出力手段は、それぞれ、光信号分配部と、モニタとを有していて、

前記光信号分配部は、前記モニタ及び当該光スイッチ装置の外部に、前記光スイッチから出力した前記光信号を分配して、出力すること
を特徴とする光スイッチ装置。

【請求項 3 7】 請求項 3 6 に記載の光スイッチ装置において、前記第 1 及び第 2 の光信号導入手段は、それぞれ、監視用信号出力源と信号合成部とを有していて、

前記信号合成部は、前記監視用信号出力源から出力された監視用信号と当該光スイッチ装置へ入力された前記光信号とをひとつの合成信号にした後、前記第 1 及び第 2 の光スイッチへ入力させ、

前記第 1 及び第 2 の光信号出力手段は、前記光信号分配部から出力された前記合成信号から前記光信号のみを取りだして、光スイッチ装置の外部へ出力するためのフィルターを具えていることを
特徴とする光スイッチ装置。

【請求項 3 8】 請求項 3 7 に記載の光スイッチ装置において、前記監視用信号出力源の動作は、前記動作制御部によって制御されることを特徴とする光スイッチ装置。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

この発明は、複数個の入力ポートのうちのいずれかに入力された光信号を、複数個の出力ポートのうちのいずれかに出力させる光スイッチに関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

文献 1 「Proceedins of 3rd International Conference on Micro Opt Electr o Mechanical Systems(MOEMS 99),Paper 26,29th/8/' 99」、文献 2 「米国特許第 5 9 2 3 4 8 0 号,13th/7/1999」、文献 3 「特開 2 0 0 0 - 1 0 0 2 9」および文献 4 「Optical Fiber Communication (OFC) 2000 論文集 講演 P D 2 0, 2 0 0 0 年 3 月」に、従来の光スイッチが開示されている。

【0 0 0 3】

ここでは、従来の光スイッチの一例として、文献 3 特開 2 0 0 0 - 1 0 0 2 9 号公報に記載されているものを、図 4 4 に示す。

【0 0 0 4】

図 4 4 (A) は、この従来の光スイッチ 4 4 0 0 の構成の説明図である。この光スイッチ 4 4 0 0 は、幾つかの光偏向素子 4 4 0 2 (4 4 0 2 a、4 4 0 2 b) とミラー 4 4 0 4 とを具える。

【0 0 0 5】

ミラー 4 4 0 4 は光スイッチ 4 4 0 0 内の所定位置に固定されている。また、光偏向素子 4 4 0 2 は、このミラー 4 4 0 4 と空間を隔てて向き合う基板 4 4 0 6 上に、整列されて、配置されている。

【0 0 0 6】

上述の光偏向素子 4 4 0 2 (4 4 0 2 a、4 4 0 2 b) のそれぞれに対して、光入出力ポートが設けられる。これらの光入出力ポートには、光ファイバ 4 4 0

8 (4 4 0 8 a、4 4 0 8 b) の端部が挿入され、さらにこの端部は光偏向素子 4 4 0 2 内に挿入され、その内部に固定されている。

【0 0 0 7】

次に、上記の構成の光スイッチ 4 4 0 0 における動作を説明する。この光スイッチ 4 4 0 0 においては、それぞれの光入出力ポートで、光の入力と出力が同時に行われている。

【0 0 0 8】

光ファイバ 4 4 0 8 b の端部より出射した光は、光偏向素子 4 4 0 2 b に入力され、ここで偏向される。その後、光偏向素子 4 4 0 2 b より出射された光は、ミラー 4 4 0 4 にて反射され、再び光偏向素子 4 4 0 2 a に入射する。この光偏向素子 4 4 0 2 a にて、光ファイバ 4 4 0 8 a 内に導かれ、光入出力ポートより出力される。

【0 0 0 9】

次に、光偏向素子 4 4 0 2 の構成を図 4 4 (B) に示す。この光偏向素子 4 4 0 2 中には、光入出力ポートより挿入された光ファイバ 4 4 0 8 と、コリメートレンズ 4 4 1 0、固定ミラー 4 4 1 2、可動ミラー 4 4 1 4 が設置されている。

【0 0 1 0】

光入出力ポートより入力された光は、光偏向素子 4 4 0 2 内の光ファイバ 4 4 0 8 の端部より出射される。この光は、コリメートレンズ 4 4 1 0 によって集光され、固定ミラー 4 4 1 2 に反射されて可動ミラー 4 4 1 4 方向に偏向される。そして、この可動ミラー 4 4 1 4 において、任意の偏向角で反射される。

【0 0 1 1】

この可動ミラー 4 4 1 4 は光の入射方向に、垂直な回転軸を有しており、2 軸に可動する。可動ミラー 4 4 1 4 の回転の調整は、任意の手段を用いて行われている。

【0 0 1 2】

よって、この可動ミラー 4 4 1 4 においては、任意の偏向角でミラー 4 4 0 4 (図 4 4 (A)) に向けて光を反射することができる。そして、光はミラー 4 4 0 4 を経て、所定の光偏向素子 4 4 0 2 a の方向へ、出射される。

【 0 0 1 3 】

一方、再び光偏向素子 4 4 0 2 a に入射した光は、図 4 4 (B) に示した矢印の方向とは逆方向に進み、可動ミラー 4 4 1 4 によって偏向される。その後、光は固定ミラー 4 4 1 2 によって反射されて、コリメートレンズ 4 4 1 0 にて集光され、光ファイバ 4 4 0 8 a 内に入力され、入出力ポートより出力される。この場合、可動ミラー 4 4 1 4 では、光ファイバ 4 4 0 8 a へ光を入射させるために、偏向角の調整が行われる。

【 0 0 1 4 】

以上のように、この種の光スイッチは、一段の光偏向素子群で構成され、これらは、それぞれ可動ミラー若しくは可動レンズが用いられる。そして、可動ミラー（あるいは可動レンズ）を用いて空間を伝搬する光ビームの方向を制御することで、所定の出力ポートへ光信号を導く。この光スイッチによれば、3次元空間配線を用いているため、ポート数の拡大が容易である。

【 0 0 1 5 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、従来のような光スイッチでは、一つの偏向素子で、空間を伝搬する光ビームの偏向角度の設定を、かなり高い精度で行う必要がある。また、以下に説明するように、その精度の実現は非常に困難である。

【 0 0 1 6 】

通常の光通信システムで用いられる光ファイバの直径は 8 ミクロン程度である。光ファイバに対して、1 ミクロン程度の位置ずれ精度で光を入力しなければ、ロスが 1 d B 以上生じて、実用上問題となる。出力ポートの間隔は実装上数百ミクロン以上必要とされるので、2 チャンネルの装置であっても、偏向角には 0. 1 % 程度の精度が必要である。さらにこれが、数十チャンネル以上の装置となると 10^{-4} 位の精度が要求される。

【 0 0 1 7 】

また、可動ミラーを用いた 1 0 0 チャンネルの装置では、偏向角に 1 % 程度の精度が必要とされる。さらにこれが、千チャンネル以上の装置となると 0. 3 % の精度が要求される。

【 0 0 1 8 】

従来、この問題を解決する方法として、光ビームに位置検出用の信号をのせて偏向角を検出し、検出された角度を偏向角コントロール系にフィードバックする方法が知られている。しかし、この方法には、電氣的処理速度の関係で高速なスイッチングが行えないという欠点がある。偏向用ミラーに角度検出機構を組み込み、フィードバックにより制御する方法も知られているが、高い精度が得られないという欠点がある。

【 0 0 1 9 】

この発明の目的は、以上のような従来技術の問題点に着目して、光スイッチに設けられた各光偏向素子が必要とする精度を緩和することにある。

【 0 0 2 0 】

また、この発明の他の目的は、チャネル数の増大をはかり、光スイッチング速度を高速で行うことにある。

【 0 0 2 1 】

【課題を解決するための手段】

この発明の第1の光スイッチによれば、複数個の光入力ポートを有する入力側スイッチ要素と、複数個の光出力ポートを有する出力側スイッチ要素とを備える。この光スイッチは、光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、光出力ポートのいずれかから出力させるものである。

【 0 0 2 2 】

上述の入力側スイッチ要素は、光入力ポートの各々に、光信号の入射方向に沿って配置された複数個の光偏向素子からなる入力側光偏向素子群を備える。また、上述の出力側スイッチ要素は、光出力ポートの各々に、光信号の出射方向に沿って配置された複数個の光偏向素子からなる出力側光偏向素子群を備える。

【 0 0 2 3 】

この第1の光スイッチの構成によれば、光ファイバより出力した光信号が、入射光として各光偏向素子に入射され、複数個の光偏向素子によって偏向され、所望の光出力ポートへ向けて出射される。このため、入力側光偏向素子群に含まれる各光偏向素子に、偏向角度の精度は振り分けられる。したがって、各光偏向素

子の必要精度が緩和される。

【 0 0 2 4 】

また、この発明の第2の光スイッチによれば、複数個の光入力ポートと複数個の光出力ポートとを有しており、光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、光出力ポートのいずれかから出力させる光スイッチにおいて、光入力ポートの各々に入力側光偏向素子を備え、光出力ポートの各々に出力側光偏向素子を備え、光入力ポートに接続された入力側光ファイバと、光出力ポートに接続された出力側光ファイバとを備えていて、光入力ポートおよび光出力ポートに、それぞれ入力側光ファイバおよび出力側光ファイバの光入出力角を拡大するための光学系を備える。

【 0 0 2 5 】

この第2の光スイッチの構成によれば、回折角度を大きくとることにより、必要な光束幅を確保しつつ、レンズとレンズ焦点面との距離を縮めることが可能である。この結果、必要な精度を確保しつつもチャンネル数の増大が図れる。

【 0 0 2 6 】

また、この発明の第3の光スイッチによれば、複数個の光入力ポートと複数個の光出力ポートとを有しており、光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、光出力ポートのいずれかから出力させる光スイッチにおいて、光入力ポートの各々に入力側光偏向素子を備え、光出力ポートの各々に出力側光偏向素子を備え、光入力ポートに接続された入力側光ファイバと、光出力ポートに接続された出力側光ファイバとを備えていて、光入力ポートおよび光出力ポートに、光のビーム径を拡大するための光学系を備える。

【 0 0 2 7 】

この光学系は、幅広の導波部であるカプラと、このカプラの端面に平行な面内に配置された複数個の小レンズから構成されるコリメータレンズを備えている。

【 0 0 2 8 】

よって、この第3の光スイッチの構成によれば、このコリメータレンズにおいて、回折角を大きくしなくても、同一の光束径、焦点距離で、必要な精度を確保しつつもチャンネル数の増大が図れる。

【 0 0 2 9 】

また、この発明の第4の光スイッチによれば、複数個の光入力ポートと複数個の光出力ポートとを有しており、光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、光出力ポートのいずれかから出力させる光スイッチにおいて、光入力ポートの各々に、光信号の入射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラーを入力側光偏向素子として備え、光出力ポートの各々に、光信号の出射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラーを出力側光偏向素子として備え、入力側光偏向素子および出力側光偏向素子間に、入力側の可動ミラーで反射された光を出力側の可動ミラーに集光するための光学素子が設けられている。

【 0 0 3 0 】

このとき、光入力ポートに備えられた光ファイバおよび可動ミラー間には、光入力ポートごとにコリメータレンズが設けられている。同様に、光出力ポートに備えられた光ファイバおよび可動ミラー間には、光出力ポートごとにコリメータレンズが設けられている。

【 0 0 3 1 】

この構成によれば、全ての光入力ポートに備えられた光ファイバからの光は、これらコリメータレンズによって可動ミラー上に集光することが可能となる。よって、可動ミラーの角度制御精度が緩和されるので、ミラー角の切り替えを高速で行うことが可能になる。

【 0 0 3 2 】

また、この発明の第5、第6の光スイッチは、複数個の光入力ポートを有する入力側スイッチ要素と、複数個の光出力ポートを有する出力側スイッチ要素を備え、これらの間に、光学素子が配設されている。この光学素子は、光入力ポートからの各光信号が、入射光として入射され、かつ、この入射光に対応する出射光を、各光線束の中心光路が互いに平行となるように、出射させる。そして、この出射光を再び各光信号として、光出力ポートの各々に対応付けられて設けられた光ファイバへ出力する。

【 0 0 3 3 】

この構成の光スイッチにおいては、光学素子として、一枚で構成される凸レン

ズ、ホログラムが用いられる。

【 0 0 3 4 】

また、この光学素子を挟んで前後に対称的に、出力側スイッチ要素と入力側スイッチ要素は配置される。

【 0 0 3 5 】

ところで、第5の光スイッチにおいて、複数個の入力ポートの各々は、これら入力ポートに対応付けられた入力側レンズ系を有し、複数個の出力ポートの各々は、これら出力ポートに対応付けられた出力側レンズ系を有していて、入力側レンズ系から出力側スイッチ要素へ光が出射する面、及び入力側スイッチ要素から出力側レンズ系へ光が入射する面には、凹レンズが設置されている。

【 0 0 3 6 】

よってこの第5の光スイッチにおいて、各入力ポートから出射した光は、この凹レンズを通過して、発散する光に変換される。そして、出力ポートと入力ポートの間に設置された光学素子によって、光線束の中心光路は互いに平行に出力ポートに入射される。どの出力ポートに入射するかは、この凹レンズからの出射角による。しかし、この出射角は、凹レンズへの光束の入射角に依存しない。

【 0 0 3 7 】

ここで、この第5の光スイッチにおいて、光学素子として凹面鏡を用いたときは、入力側スイッチ要素と出力側スイッチ要素を共用することができる。

【 0 0 3 8 】

ところで、第6の光スイッチにおいて、光学素子として凸レンズを用いたとき、この凸レンズは、第1凸レンズと、第1凸レンズを挟んで形成される第2凸レンズとから形成される。第2凸レンズは一枚で構成されるが、第1凸レンズは、複数個のレンズが一平面内に配列された構造のコリメート用素子である。

【 0 0 3 9 】

そして、この第6の光スイッチにおいては、複数個の入力ポートの各々は、これら入力ポートに対応付けられた入力側レンズ系を有し、複数個の出力ポートの各々は、これら出力ポートに対応付けられた出力側レンズ系を有していて、入力側レンズ系及び出力側レンズ系は、固定レンズ（もしくは光信号の入射方向また

は出射方向に垂直な面内で移動可能な可動レンズ）と、光信号の入射方向または出射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラーとから構成されている。この可動ミラーは、第1凸レンズに対して、ひとつ置きにではなく、連続して基板上に配列される。

【0040】

このとき、入力側レンズ系に設けられた可動ミラーは、第2凸レンズの焦点位置に配置される。また、入力側レンズ系に設けられた可動ミラーのすべての光束が、出力側スイッチ要素に到達するように、光学素子を対称軸として前後で対象の位置に、入力側スイッチ要素と、出力側スイッチ要素は配置される。

【0041】

このような構成の第6の光スイッチにおいては、入力側レンズ系に設けられた可動ミラーの位置と第1凸レンズの相対位置によって、出力側レンズ系に設けられた可動ミラーのどれに行くかは決まるため、第1凸レンズのどれを選ぶかによって、どの出力ポートより光信号が出力するか決定される。

【0042】

つぎに、この発明の第7の光スイッチは、マトリックス配列された複数の入力ポートを有する入力側スイッチ要素と、マトリックス配列された複数の出力ポートを有する出力側スイッチ要素とを備えている。そして、この入力ポートの各々は、これら入力ポートに対応付けられた入力側レンズ系を有し、同様に出力ポートの各々は、これら出力ポートに対応付けられた出力側レンズ系を有している。入力ポート側より出力した光信号は、出力ポート側に出力される。

【0043】

さらに、この入力側及び出力側レンズ系のうち、マトリックス配列の少なくとも周縁側の入力側及び出力側レンズ系を、この周縁側の入力側レンズ系を通る光信号を、マトリックス配列の中心側の出力側レンズ系に導くことが出来るように動作する固定もしくは可動レンズ系とする。

【0044】

以上のような、第5～7の光スイッチの構成によれば、出力ポートへ光を出射させるとき、入力側スイッチ要素のどの入力ポートにある光偏向素子においても

、とりうる偏向角の値の範囲は同じであるため、チャンネル数の増大をはかることができる。

【 0 0 4 5 】

また、第 6、7 の光スイッチは、入力側レンズ系に設けられた可動ミラーの傾き角と出力ポートの関係が一对一に対応できるため、駆動が簡単となる。

【 0 0 4 6 】

次に第 8 の光スイッチは、複数個の光入力ポートを有する入力側スイッチ要素と、複数個の光出力ポートを有する出力側スイッチ要素とを備え、光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、光出力ポートのいずれかから出力させる。

【 0 0 4 7 】

この第 8 の光スイッチにおいて、入力側スイッチ要素は、第 1 及び第 2 光ユニットを備え、及び出力側スイッチ要素は、第 3 及び第 4 光ユニットを備えている。

【 0 0 4 8 】

ここで、第 1 光ユニットは、入力側導光路と、入力側導光路からの光信号を集光する入射側レンズ系との組合せを、光入力ポートの各々に対応付けて複数対備え、第 2 光ユニットは、入射側レンズ系と対応付けて設けられ、これら入射側レンズ系からの光信号を反射させる複数の第 1 可動ミラーを備えている。入力側導光路は入射側レンズ系の各々に、対応付けて設けられている。

【 0 0 4 9 】

また、第 3 光ユニットは、第 2 光ユニットの可動ミラーからの光信号を個別に反射させる複数の第 2 可動ミラーを備え、第 4 光ユニットは、第 2 可動ミラーからの光信号を集光する出射側レンズ系と、このレンズ系から光信号が入射する出力側導光路との組合せを、光出力ポートの各々に対応付けて複数対備えている。

【 0 0 5 0 】

また、これら第 1、第 2、第 3、第 4 光ユニットは、共通の基板上に設けられている。

【 0 0 5 1 】

さらに、第 1 光ユニット内は、入力側導光路が第 1 基板に固定されており、同

様に入射側レンズ系も第2基板に固定されており、第4光ユニット内は、出射側レンズ系が第3基板に固定されており、同様にして出力側導光路も第4基板に固定されている。

【0052】

この第8の光スイッチは、好ましくは、第1基板から第4基板に、熱膨張係数が小さいか、同一の基板を用いる。

【0053】

さらに、この第8の光スイッチは、第1基板から第4基板、さらに共通基板の熱膨張係数が小さいか、同一である場合があってもよい。

【0054】

この第8の光スイッチにおいて、第1光ユニットに設けられた入力側導光路から出射した光信号は、入射側レンズ系の入射光となる。そして、ここで集光され、第2光ユニットに設けられた第1可動ミラーにて、第3光ユニットに設けられた所望の第2可動ミラーへ偏向される。この第2可動ミラーにてさらに偏向された光は、第4光ユニットに設けられたレンズ系を経て、出力側導光路に入射される。

【0055】

ここで温度変動により、共通基板が膨張したとする。このとき、第1光ユニット及び第4光ユニットは、共通基板と同様に膨張する。

【0056】

しかし、第1基板と第2基板、及び第3基板と第4基板の熱膨張係数が同一であれば、第2光ユニットに設けられた第1可動ミラーへの光の入射位置ずれは生じるが、入射角度は変動しない。この第1可動ミラーの角度における温度変動は小さいので、光ビームの伝搬角度も変化はない。

【0057】

このとき第3光ユニットに設けられた第2可動ミラーにおいても、光は入射位置が変動するだけであって、入射角度の変動は無い。また、第2可動ミラーの温度による角度変化は小さいため、出射側レンズ系への光の入射位置は変動するものの、入射角度の変動は無い。

【 0 0 5 8 】

このように第 8 の光スイッチの構成においては、温度変化があつたとしても焦点位置ずれを最小とし、光ファイバへの入力角度ずれのみを生じさせ、光出力に対する影響がより少ない構造としたため、温度変化による出力パワー変動を抑えることが可能となる。

【 0 0 5 9 】

つぎに、これら第 1 ～ 8 の光スイッチを用いた光スイッチ装置について、説明する。この発明の光スイッチを用いた光スイッチ装置は、スイッチング用可動部を有する光スイッチと、光スイッチからの出射光をモニタするモニタ部と、モニタ部からのモニタ信号に応答して、スイッチング用可動部を制御することにより、光スイッチのスイッチングの制御状態を調整するための動作制御部とを備える。

【 0 0 6 0 】

この光スイッチ装置は、第 1 の光スイッチと第 2 の光スイッチを有している。

【 0 0 6 1 】

スイッチング用可動部は、構成が全く同一で、第 1 及び第 2 の光スイッチへ光信号を入力する第 1 の光信号導入手段と第 2 の光信号導入手段を有し、モニタ部も、構成が全く同一の第 1 の光信号出力手段と第 2 の光信号出力手段を有している。

【 0 0 6 2 】

第 1 及び第 2 の光信号導入手段は、監視用信号出力源と、信号合成部とを有していて、監視用信号出力源より出力された監視用信号と、入力された光信号とを、信号合成部にてひとつの合成信号にした後、第 1 及び第 2 の光スイッチへ入力させる。

【 0 0 6 3 】

また、第 1、第 2 の光信号出力手段は、光信号分配部とモニタとを有していて、光信号分配部は、モニタ及び光スイッチ装置の外部に、光スイッチより出力した光信号を分配して、出力する。

【 0 0 6 4 】

さらに、この光スイッチ装置によれば、第1及び第2の光信号出力手段にフィルターを設け、光信号分配部より出力された合成信号から光信号のみを取りだし、光スイッチ装置の外部へ出力する。監視用信号出力源の動作は、動作制御部にて制御される。

【0065】

第2の光スイッチは予備用に使用されるほか、スイッチング用可動部からの光信号を、第1及び第2の光信号出力手段へ、放送分配するときにも使用されることが好ましい。

【0066】

よって、この光スイッチ装置の構成において、光スイッチの状態監視が可能となり、しかも予備系の配置と2方向への放送分配機能が、少ない部品数で実現される。

【0067】

【発明の実施の形態】

以下、図を参照して、この発明の実施の形態につき説明する。なお、図は、この発明を理解できる程度に、形状、大きさおよび配置関係を概略的に示すものに他ならない。よって、この発明は、図示例に何ら限定されるものではない。さらに、説明に用いる各図において、同様な構成成分については同一の符号を付して示してあり、重複する説明は省略している。

【0068】

またこの際、これら実施の形態における動作を説明するために、光束の形状を必要に応じて図示する。また、この発明で扱われる光学系は、近軸光線とする。

【0069】

〔第1の実施の形態〕

図1は、第1の実施の形態の光スイッチの構成を示す斜視図である。この光スイッチ26は、複数個の光入力ポート10を有する入力側スイッチ要素12と、複数個の光出力ポート14を有する出力側スイッチ要素16とを備える。図1に矢印で光線の様子を示してある。この光スイッチによれば、光入力ポート10のいずれかに入力された光信号が光出力ポート14のいずれかから出力される。

【 0 0 7 0 】

上述の入力側スイッチ要素 1 2 は、光入力ポート 1 0 の各々に、2 個の光偏向素子 1 8 a および 1 8 b からなる入力側光偏向素子群 2 0 を備える。これら光偏向素子 1 8 a および 1 8 b は、光入力ポート 1 0 に入射される光信号の入射方向に沿って配置されている。

【 0 0 7 1 】

また、上述の出力側スイッチ要素 1 6 は、光出力ポート 1 4 の各々に、2 個の光偏向素子 2 2 a および 2 2 b からなる出力側光偏向素子群 2 4 を備える。これら光偏向素子 2 2 a および 2 2 b は、光出力ポート 1 4 から出射される光信号の出射方向に沿って配置されている。

【 0 0 7 2 】

入力側スイッチ要素 1 2 と出力側スイッチ要素 1 4 とは、構造的に同じものである。

【 0 0 7 3 】

この例では、入力側スイッチ要素 1 2 への光入力手段として、光ファイバ 2 8 が用いられる。この光ファイバ 2 8 の出力端面が、上述の光入力ポート 1 0 に接続される。また、出力側スイッチ要素 1 6 からの光出力手段として、光ファイバ 3 0 が用いられる。この光ファイバ 3 0 の入力端面が、上述の光出力ポート 1 4 に接続される。

【 0 0 7 4 】

このように、この実施の形態の光スイッチによれば、入力側光ファイバ群と出力側光ファイバ群との間に 3 次元光配線が構成される。そして、この 3 次元光配線を実現するための上述した光偏向素子群は、2 個の光偏向素子からなる二段構成になっている。このように、従来構成では光偏向素子群が一段構成であったのに対して、この実施の形態の構成では二段構成になっている。

【 0 0 7 5 】

なお、この実施の形態では、入力側光偏向素子群 2 0 を構成する一方の光偏向素子 1 8 a は基板 3 2 上に設置される。各ポートの光偏向素子 1 8 a が基板 3 2 上に配置されて、第 1 偏向素子アレイ 3 4 が構成される。同様に、入力側光偏向

素子群 2 0 を構成する他方の光偏向素子 1 8 b も別の基板 3 6 上に設置される。各ポートの光偏向素子 1 8 b が基板 3 6 上に配置されて、第 2 偏向素子アレイ 3 8 が構成される。これら第 1 および第 2 偏向素子アレイ 3 4 および 3 8 が、入力側スイッチ要素 1 2 を構成している。

【 0 0 7 6 】

また、出力側光偏向素子群 2 4 を構成する一方の光偏向素子 2 2 a は基板 4 0 上に設置される。各ポートの光偏向素子 2 2 a が基板 4 0 上に配置されて、第 3 偏向素子アレイ 4 2 が構成される。同様に、出力側光偏向素子群 2 4 を構成する他方の光偏向素子 2 2 b も別の基板 4 4 上に設置される。各ポートの光偏向素子 2 2 b が基板 4 4 上に配置されて、第 4 偏向素子アレイ 4 6 が構成される。これら第 3 および第 4 偏向素子アレイ 4 2 および 4 6 が、出力側スイッチ要素 1 6 を構成している。

【 0 0 7 7 】

なお、各光偏向素子は分離して、単独に設けられていても良く、あるいは複数の基板に分割して設けられていても良い。

【 0 0 7 8 】

この実施の形態では、第 1、第 2、第 3 および第 4 偏向素子アレイ 3 4、3 8、4 2 および 4 6 がこの順序で、各基板 3 2、3 6、4 0 および 4 4 が平行となるように配列されている。

【 0 0 7 9 】

また、光ファイバ 2 8 および 3 0 は、それぞれ不図示の保持部材例えば基板によって整列した状態で保持される。このような基板には、精密な位置精度で光ファイバを位置決めするためのガイドが、種々の好適な方法によって形成されている。

【 0 0 8 0 】

この実施の形態では、上述の光偏向素子 1 8 a、1 8 b、2 2 a および 2 2 b として可動レンズが用いられている。この可動レンズは、光信号の入射方向または出射方向に垂直な面内で移動可能なレンズである。また、各光偏向素子群 2 0 および 2 4 を構成する 2 枚の可動レンズは焦点距離が異なっている。

【 0 0 8 1 】

図 2 は、可動レンズの構成例を示す平面図である。レンズ 4 8 は、微動台 5 0 上の 4 つのアクチュエータ 5 2、5 4、5 6 および 5 8 によって支持されている。レンズ 4 8 は、アクチュエータ 5 2 および 5 4 を駆動させることで、微動台 5 0 の面内の一方向、図 2 の例では図中の上下方向に移動する。また、レンズ 4 8 は、アクチュエータ 5 6 および 5 8 を駆動させることで図 2 中の左右方向に移動する。微動台 5 0 の面には光透過孔 5 0 a が開けられており、レンズ 4 8 はこの孔 5 0 a に対して相対的に移動する。また、微動台 5 0 はスライダ 6 0 によって支持されており、大きなぶれが生じないように図 2 中の左右方向に移動可能である。この構成はあくまでも一例であって、他の種々の構成を適用することができる。

【 0 0 8 2 】

図 3 は、図 1 に示した光スイッチの一部の断面を示す図である。図 3 に示すように、光偏向素子 1 8 a、1 8 b、2 2 a および 2 2 b として可動レンズが用いられている。可動レンズ 1 8 a は、基板 3 2 上にアクチュエータ 6 2 を介して保持されている。可動レンズ 1 8 b は、基板 3 6 上にアクチュエータ 6 4 を介して保持されている。可動レンズ 2 2 a は、基板 4 0 上にアクチュエータ 6 6 を介して保持されている。可動レンズ 2 2 b は、基板 4 4 上にアクチュエータ 6 8 を介して保持されている。各可動レンズは、各アクチュエータにより、各基板面に沿って移動可能である。

【 0 0 8 3 】

基板 3 2、3 6、4 0 および 4 4 それぞれには、光を通すための開口 3 2 a、3 6 a、4 0 a および 4 4 a が形成されている。基板 3 6 および 4 0 の側では光の偏向角が大きくなるため、基板 3 6 および 4 0 が厚い場合には図示のように面取りをして、光束がかからないようにする必要がある。なお、基板 3 2、3 6、4 0 および 4 4 が、使用する光の波長に対して透明な材料である場合には必ずしも上述した開口は必要ではない。また、基板 3 2 と基板 3 6 とは、レンズ 1 8 a および 1 8 b 間の間隔をとるために、スペーサを介して貼り付けられる。同様に、基板 4 0 と基板 4 4 とは、レンズ 2 2 a および 2 2 b 間の間隔をとるために、

スペーサを介して貼り付けられる。

【0084】

図3に示すように、入力側光ファイバ28からの出射光は、入力側スイッチ要素のレンズ対18aおよび18bで平行光にされた後、出力側スイッチ要素のレンズ対22aおよび22bによって出力側光ファイバ30に集光される。

【0085】

また、図4に示すように構成しても良い。図4は、入力側スイッチ要素の断面を示す図である。基板70には、光ファイバ78からの出射光を通すための開口70aが形成されている。この開口70aの位置に光偏向素子群が設けられている。この例では、光偏向素子群を構成する1対の光偏向素子が一枚の基板70に設けられる。すなわち、1段目の光偏向素子である可動レンズ72aは、アクチュエータ74を介して基板70に保持される。さらに、2段目の光偏向素子である可動レンズ72bは、アクチュエータ76を介してアクチュエータ74に保持される。このようにアクチュエータを多段構成にしてある。レンズ72aおよび72bは、それぞれアクチュエータ74および76によって独立に駆動される。レンズ72aおよび72bは、基板70面に沿って移動することができる。

【0086】

後述するように、例えばレンズ72aで偏向角の粗調を行い、レンズ72bで偏向角の微調を行うときには、原理的には図4の構成の方が望ましい。しかし、基板上にマイクロマシン作製技術でアクチュエータを構成するときには、多段のアクチュエータを構成することは困難であるため、図3に示す構成の方が現状は作りやすい。ただし、図4の構成であっても、例えばレンズ72aおよび72bをカメラなどで用いられる超音波駆動モータ系とマイクロレンズとで構成するなどすれば、実現可能である。

【0087】

次に、この実施の形態の光スイッチの動作原理につき、図5～10を参照して説明する。

【0088】

図5には、図1に示した光偏向素子18aおよび18bにそれぞれ対応するレ

レンズ 8 0 a および 8 0 b が示されている。レンズ 8 0 b の焦点距離を f_b とする。レンズ 8 0 b に入射する平行光は、レンズ 8 0 b から f_b の距離だけ離れた焦点 8 2 b の位置に集光する。レンズ 8 0 b にレンズ 8 0 a を組み合わせると焦点の位置は移動する。移動後の焦点 8 2 c は、レンズ 8 0 a および 8 0 b を組み合わせた複合レンズ系と等価な働きをするレンズの中心 8 4 から、 f_c の距離だけ離れた位置にある。図 3 に示したように、焦点 8 2 c に光源すなわち光ファイバの端面を置いて使用される。図 5 中、中心線 8 6 は、焦点 8 2 c および中心 8 4 を通る線である。レンズ 8 0 a の焦点距離を f_a とすると、次式 (1)

$$1/f_c = 1/f_a + 1/f_b \quad \cdots (1)$$

の関係がある。

【0089】

図 6 には、レンズ 8 0 a が示されている。中心線 8 6 上に、上述した等価レンズの焦点 8 2 c が示されている。上述したように、通常はこの焦点 8 2 c の位置に光源が置かれる。次に、光源が焦点 8 2 c から中心線 8 6 に対して垂直な方向に距離 d だけ移動した場合を考える。レンズ 8 0 a と等価レンズの中心 8 4 とが比較的近い場合、光源の移動後の位置 8 8 とレンズ 8 0 a との距離は f_c にほぼ等しい。以下、この距離を記号 $\sim f_c$ で表す。

【0090】

光源が焦点 8 2 c の位置にあった場合には中心線 8 6 に光束の中心がある。しかし、光源を位置 8 8 へずらすと、光束の中心はレンズ 8 0 a から焦点距離 f_a だけ離れた位置で中心線 8 6 と交わる線 9 0 の方向へ屈折する。この場合、線 9 0 の延長上、レンズ 8 0 a より $\sim f_c$ だけ離れた位置 9 2 に仮想的な光源があるのと等価な状態になる。さらに、レンズ 8 0 a による光の集光効果は、光源が焦点 8 2 c の位置にあるときと同等である。つまり、位置 9 2 に光源があつて、線 9 0 に垂直にレンズ 8 0 a が置かれた状況と近似的に等しい。線 8 6 および 9 0 が交わる角度、すなわち偏向角を θ_a とする。このとき次式 (2)

$$\theta_a = \tan^{-1} (d/f_a) \quad \cdots (2)$$

の関係が成立する。

【0091】

次に、レンズ 8 0 a および 8 0 b からなる複合レンズ系の動作の説明に戻る。
図 7 には、複合レンズ系が中心線 8 6 上から、中心線 8 6 に垂直な方向に距離 D だけ移動した状態を示してある。また、図 7 には、レンズ 8 0 a および 8 0 b の移動後のレンズ 8 0 a' および 8 0 b' が示されている。また、図 7 には、複合レンズ系の中心 8 4 の移動後の中心 8 4' および中心線 8 6 の移動後の中心線 8 6' も示されている。光源が焦点 8 2 c の位置にあるとき、光は焦点 8 2 c と中心 8 4' とを結ぶ線 9 4 上を進む。中心線 8 6 と線 9 4 とのなす角度、すなわち偏向角 θ_D は次式 (3)

$$\theta_D = \tan^{-1} (D / f_c) \quad \dots (3)$$

で表される。

【 0 0 9 2 】

次に、図 8 に示すように、レンズ 8 0 a のみが移動する場合、すなわちレンズ 8 0 a がレンズ 8 0 b に対して相対的に移動する場合を考える。レンズ 8 0 a は、中心線 8 6 上から中心線 8 6 に垂直な方向に距離 d だけ移動する。図 8 には、レンズ 8 0 a の移動後のレンズ 8 0 a'' が示されている。このときは、図 6 に示した場合と同様となり、焦点 8 2 c (図 6 の位置 8 8 に相当する。) に置かれた光源からの出射光は、線 9 0 の方向へ屈折する。したがって、レンズ 8 0 b から、線 9 0 に垂直なレンズを介して仮想位置 9 2 に光源があるように見える。仮想位置 9 2 の本来の光源の位置 8 8 からのずれを d c とする。図 6 を参照して説明した結果を用いると次式 (4)

$$d c = \sim f_c \cdot \tan \theta_a = \sim f_c \cdot d / f_a \quad \dots (4)$$

が得られる。

【 0 0 9 3 】

また、位置 9 2 に置かれた光源からの出射光 9 6 は、レンズ 8 0 b によって線 9 8 の方向に屈折される。線 8 6 および 9 8 のなす角度、すなわち偏向角 θ は、傾いたレンズとレンズ 8 0 b との 2 枚のレンズ系の焦点距離を考慮して、次式 (5)

$$\theta = \tan^{-1} (d c / f_c) = \tan^{-1} [(d / f_a) (\sim f_c / f_c)] \quad \dots (5)$$

で与えられる。

【0094】

次に、別の考え方から上述の(5)式の結果を導く。図9では、レンズ80aが無い(ただし、図9中、レンズ80aがあった位置を記号80aで示す。)。図9の構成は、図5に示したように仮想位置82bに光源があるような場合へと図8の構成を変形したものに相当する。図9中の線90は、レンズ80aが無いときにあたかもこの方向に光源がずれているように光が進むことを示している。レンズ80aが無いときの焦点位置は、図5に示したようにレンズ80bからfbの距離だけ離れた位置92'になる。仮想的な光源は位置92'に置かれるとする。光源の位置92'は、中心線86に対してdc'だけ離れている。距離dc'は次式(6)

$$dc' = dcfb / fc = (\sim fc / fc) (fb / fa) d \quad \dots (6)$$

で表される。

【0095】

また、位置92'に置かれた光源からの出射光96は、レンズ80bによって線98の方向に屈折される。線86および98のなす角度、すなわち偏向角 θ は次式(7)で与えられる。

【0096】

$$\theta = \tan^{-1} (dc' / fb) = \tan^{-1} [(d / fa) (\sim fc / fc)] \quad \dots (7)$$

したがって、前述の(5)式の結果と同一の結果が得られる。

【0097】

以上説明したように、偏向角 θ_D はレンズ系80aおよび80bの移動距離Dと複合レンズ系の焦点距離fcとの比D/fcにより決まる。また、 $(\sim fc / fc)$ が1に近いと仮定すれば、偏向角 θ はレンズ80aのレンズ80bに対する相対位置dとレンズ80aの焦点距離faとの比d/faにより決定される。移動距離Dおよびdは、同等のアクチュエータを用いるので同等の大きさだとする。また、レンズ80bの集光力を大きくして(すなわち焦点距離fbを小さくする。)、レンズ80aの集光力を小さくすれば(すなわち焦点距離faを大き

くする。)、 $f_b/f_a = r \ll 1$ となる。また、このとき θ_D/θ は f_a/f_c にほぼ等しい。 $f_a/f_c = (r+1)/r$ であるから $f_a/f_c \gg 1$ となる。したがって、 $\theta_D/\theta \gg 1$ となるから、偏向角 θ_D によって偏向角の粗調を行い、偏向角 θ によって偏向角の微調を行うことができるようになる。位置精度を δ とすると角度精度は、 θ_D では $\delta/f_c = \theta_D \delta/D$ となり、 θ では $\delta/f_a = \theta \delta/D$ となるから、最大偏向角に対する割合として同一の値(δ/D)となる。絶対値では θ_D と θ との精度は $1:r$ となる。

【0098】

また、次のように考えることもできる。図10は、レンズ80aおよび80bの複合レンズ系を1枚のレンズ80cで置き換えた様子を示している。このレンズ80cの焦点距離は f_c である。このように置き換えを行うと、図8および図9の状態はレンズ80cが中心線86から d_e の距離だけ移動した場合と等価になる。

【0099】

図10に示すように、位置92に置かれた光源からの出射光96は、レンズ80cによって線98の方向に屈折される。線86および98のなす角度、すなわち偏向角 θ は次式(8)

$$\theta = \tan^{-1}(d_e/f_c) \quad \dots (8)$$

で与えられる。

【0100】

(4) および(5)式より、次式(9)

$$d_e = (\sim f_c/f_a) d = d_c \quad \dots (9)$$

の関係が成立する。

【0101】

つまり、実際のレンズ80aの移動距離 d よりも $\sim f_c/f_a = r$ だけ小さくレンズ80cを移動したことに等価になる。よって、偏向角の粗調は複合レンズ系80aおよび80bを同時に動かすことで行え、偏向角の微調はレンズ80aだけを動かすことで行えることが分かる。

【0102】

以上説明したように、集光力の小さなレンズ 8 0 a と集光力の大きなレンズ 8 0 b とで光偏向素子群を構成しているので、偏向角精度はそれぞれのレンズに振り分けられる。レンズ 8 0 a では、数十チャンネルであれば数%の精度でも良い。この場合、レンズ 8 0 b では、隣接チャンネル間隔の数百ミクロン内で 1 ミクロンの精度を出すために数分の一%の精度が要求される。このように、従来必要とされた 10^{-4} (すなわち $10^{-4} \times 100 = 10^{-2}\%$) の精度が 2 つの素子に振り分けられる。例えばレンズ 8 0 a の精度を 10^{-2} (二百ミクロン) 程度とすると、レンズ 8 0 b でも 10^{-2} 程度の精度で良くなる。よって、簡便なレンズ位置の検出方法によっても全体として必要な精度が得られる。

【 0 1 0 3 】

以上の議論はレンズ系が 3 枚以上のレンズで構成される場合にも成立する。例えば、レンズ 8 0 a および 8 0 b の複合レンズ系をレンズ 8 0 c で置き換え、このレンズ 8 0 c に新たなレンズを加えた複合レンズ系を考えれば良い。このときは、偏向角の調整精度が 3 枚のレンズに振り分けられる。ここで α をレンズの個数とすると、レンズ 8 0 c と新たなレンズのそれぞれに要求される位置精度が $10^{-1}/\alpha$ ($\alpha = 2$) 程度にまでさらに緩和される。このように、3 枚以上の可動レンズ系を構成することで効果がさらに向上する。

【 0 1 0 4 】

なお、この実施の形態では、光偏向素子群として入力側から順に集光力の小さなレンズ、および集光力の大きなレンズを配置したが、これとは逆に入力側から順に集光力の大きなレンズ、および集光力の小さなレンズを配置しても良い。

【 0 1 0 5 】

〔第 2 の実施の形態〕

図 1 1 は、第 2 の実施の形態の光スイッチの構成を示す図である。この光スイッチ 1 0 8 は、複数個の光入力ポート 1 0 を有する入力側スイッチ要素 1 1 0 と、複数個の光出力ポート 1 4 を有する出力側スイッチ要素 1 1 2 とを備える。

【 0 1 0 6 】

上述の入力側スイッチ要素 1 1 0 は、光入力ポート 1 0 の各々に、2 個の光偏向素子 1 8 a および 1 0 0 a からなる入力側光偏向素子群 1 1 4 を備える。これ

ら光偏向素子 1 8 a および 1 0 0 a は、光入力ポート 1 0 に入射される光信号の入射方向に沿って配置されている。

【 0 1 0 7 】

また、上述の出力側スイッチ要素 1 1 2 は、光出力ポート 1 4 の各々に、2 個の光偏向素子 1 0 0 b および 2 2 b からなる出力側光偏向素子群 1 1 6 を備える。これら光偏向素子 1 0 0 b および 2 2 b は、光出力ポート 1 4 から出射される光信号の出射方向に沿って配置されている。

【 0 1 0 8 】

入力側スイッチ要素 1 1 0 と出力側スイッチ要素 1 1 2 とは、構造的に同じものである。

【 0 1 0 9 】

この例では、入力側スイッチ要素 1 1 0 への光入力手段として、光ファイバ 2 8 が用いられる。この光ファイバ 2 8 の出力端面が、上述の光入力ポート 1 0 に接続される。また、出力側スイッチ要素 1 1 2 からの光出力手段として、光ファイバ 3 0 が用いられる。この光ファイバ 3 0 の入力端面が、上述の光出力ポート 1 4 に接続される。

【 0 1 1 0 】

図 1 2 は、第 2 の実施の形態の光スイッチの要部構成を示す断面図である。図 1 2 には、図 1 1 に示した入力側スイッチ要素 1 1 0 に相当する部分が示されている。出力側スイッチ要素 1 1 2 も図 1 2 に示す入力側スイッチ要素 1 1 0 と同じ構成である。

【 0 1 1 1 】

この実施の形態では、入力側光偏向素子群 1 1 4 を構成する一方の光偏向素子 1 8 a は基板 3 2 (図 1 1 では図示を省略) 上に設置される。同様に、入力側光偏向素子群 1 1 4 を構成する他方の光偏向素子 1 0 0 a は別の基板 1 0 4 a 上に設置される。

【 0 1 1 2 】

また、出力側光偏向素子群 1 1 6 を構成する一方の光偏向素子 2 2 b は不図示の基板上に設置される。同様に、出力側光偏向素子群 1 1 6 を構成する他方の光

偏向素子 1 0 0 b は別の基板 1 0 4 b 上に設置される。

【 0 1 1 3 】

この実施の形態では、上述の光偏向素子 1 8 a および 2 2 b として可動レンズが用いられている。この可動レンズは、光信号の入射方向または出射方向に垂直な面内で移動可能なレンズである。また、この実施の形態では、上述の光偏向素子 1 0 0 a および 1 0 0 b として可動ミラーが用いられている。

【 0 1 1 4 】

このように、第 2 の実施の形態の光スイッチの、第 1 の実施の形態の光スイッチとの相違点は、一方の可動レンズの代わりに可動ミラーを備えた点にある。光は、可動レンズ 1 8 a、可動ミラー 1 0 0 a、可動ミラー 1 0 0 b、可動レンズ 2 2 b の順に光スイッチ内を通過する。

【 0 1 1 5 】

図 1 2 に示すように、可動ミラー 1 0 0 a は、光ファイバ 2 8 からの光信号の入射方向に垂直な回転軸（ヒンジ） 1 0 2 を有している。可動ミラー 1 0 0 a は、基板 1 0 4 a にヒンジ 1 0 2 を介して固定されている。基板 1 0 4 a 上、可動ミラー 1 0 0 a と対向する位置に、電極 1 0 6 a および 1 0 6 b が設けられている。これらの電極 1 0 6 a および 1 0 6 b のいずれかを荷電させると、その静電引力によって、荷電した電極の側に可動ミラー 1 0 0 a が傾く。したがって、この可動ミラー 1 0 0 a は、図 1 および図 3 に示した可動レンズ 1 8 b と同等の働きをする。よって、この第 2 の実施の形態の構成にあっても、偏向角の微調と粗調とが可能である。偏向角精度はそれぞれの光偏向素子に振り分けられる。

【 0 1 1 6 】

なお、図 1 1 中の光偏向素子 1 0 0 a および 1 0 0 b 間の位置にミラー 1 1 8 を置いて反射構成とすれば、入力側スイッチ要素 1 1 0 のみで入力光の偏向、および偏向後の光の出力が可能になるため、出力側スイッチ要素 1 1 2 は省略できる。

【 0 1 1 7 】

〔第 3 の実施の形態〕

次に、第 3 の実施の形態では、光スイッチのチャンネル数を増大するための構成

について説明する。まず、この構成を備えない光スイッチの問題点を明らかにする。

【0 1 1 8】

図 1 3 に示すように、典型的な光スイッチは、光ファイバ 2 8 および 3 0 間に、コリメータレンズ 1 2 0 および 1 2 2 からなるコリメータ系を有している。可動レンズ型の光偏向素子を用いた装置では、コリメータレンズ 1 2 0 および 1 2 2 そのものが移動をして、光束の偏向を行う。可動ミラー型の光偏向素子を用いた装置では、光路中に設けられた可動ミラーによって光束の偏向を行う。ここで、コリメータレンズ 1 2 0 および 1 2 2 間の距離を L とし、各レンズ 1 2 0 および 1 2 2 の焦点距離を f とする。また、コリメータレンズあるいは光束（ビーム）の最大径を Φ とする。回折の影響を考慮した解析より、

$$L < \pi \Phi^2 / \lambda \quad \dots (10)$$

が必要となる。ここで λ は光の波長である。光ファイバ 2 8 の入出力角度あるいは回折角を θ_d とすると

$$\Phi = f \theta_d \quad \dots (11)$$

の関係がある。

【0 1 1 9】

次に、図 1 4 を参照して、光偏向素子が可動ミラーである場合について精度計算を行う。図 1 4 は、可動ミラー型光スイッチの要部構成を示す図である。図 1 4 には、出力側スイッチ要素に相当する部分が示されている。この図には、入力側光偏向素子（不図示）で偏向された光束が、出力側の可動ミラー 1 2 4 で偏向された後に、レンズ 1 2 2 で集光され、光ファイバ 3 0 に入力される様子が示されている。図中の可動ミラー 1 2 4 の状態のように正しいミラー角度の場合には、光束 1 2 6 は正しい位置で光ファイバ 3 0 に入力される。ミラー 1 2 4 の角度が記号 1 2 4' で示すように正しい角度からずれると、光は記号 1 2 6' で示す光束のように焦点位置がずれてしまい光ファイバ 3 0 に入らなくなる。ミラー角度のずれによる光束の角度ずれを $d\theta$ とする。焦点位置ずれを $\delta \Delta S$ とおく。すると

$$\delta \Delta S = f d\theta \quad \dots (12)$$

が成立する。この角度ずれ $d\theta$ は、出力側の可動ミラー 1 2 4 の角度ずれのみでなく、入力側の光偏向素子を可動ミラーとした場合にはその入力側可動ミラーの角度ずれによっても生じる。

【0 1 2 0】

図 1 や図 1 1 を参照して説明したように、入力ポートおよび出力ポート間には 3 次元光配線が形成される。入力側および出力側光偏向素子は、それぞれポートごとに配置される。N チャンネルの光スイッチの場合、ポートの配列面に平行な面内において、縦および横方向にそれぞれ $N^{1/2}$ 個の光偏向素子が並ぶ。各光偏向素子はクロストーク確保の必要性から 4Φ 以上のピッチで並べる必要がある。したがって、ポートの配列面の一边の大きさは $4\Phi N^{1/2}$ となる。したがって、必要とされる最大傾斜ミラー角 θ_m は

$$\theta_m = 2\Phi N^{1/2} / L \quad \dots (13)$$

となる。(10) および (13) 式から、

$$\Phi > 2\lambda N^{1/2} / (\pi\theta_m) \quad \dots (14)$$

を得る。

【0 1 2 1】

ミラー角度精度を%で表すために $\varepsilon = \delta\theta / \theta_m$ を定義する。すると、(11)、(12)、(14) 式より、

$$N < \{ \pi\theta_d \delta\Delta S / (2\varepsilon\lambda) \}^2 \quad \dots (15)$$

を得る。 $\delta\Delta S_m$ を必要なロス以内に抑えるための焦点位置ずれの最低値とすると、

$$N = \{ \pi\theta_d \delta\Delta S_m / (2\varepsilon\lambda) \}^2 \quad \dots (16)$$

と表せる。(16) 式の結果は、誤差精度 ε を良く(小さく)する以外に、光ファイバの回折角 θ_d を大きくすることによっても、チャンネル数 N を増大できることを示している。あるいは、 $\delta\Delta S_m$ を大きくすることによってもチャンネル数 N を増大することができる。しかし、単一モード光ファイバの場合には、 $\delta\Delta S_m$ を大きくするには光ファイバのモード径で大きくすることになり、その場合 θ_d は小さくなってしまいうため効果が無い。

【0 1 2 2】

チャンネル数 N の計算例を示す。 $\delta \Delta S m$ および θ_d の値を典型的なシングルモード光ファイバの場合の $1 \mu m$ 、 0.2 rad とする。誤差 ε を 1% 、波長 λ を $1.55 \mu m$ とする。このとき $N=100$ となる。

【0123】

次に、図15および図16を参照して、光偏向素子が可動レンズである場合について同様の解析を行う。図15および図16は、可動レンズ型光スイッチの要部構成を示す図である。

【0124】

図15には、入力側スイッチ要素に相当する部分が示されている。この図には、入力側光ファイバ28からの出射光が、入力側の可動レンズ128で偏向される様子が示されている。図中、アクチュエータ130aおよび130bは、可動レンズ128を移動させるためのモータである。梁132aおよび132bは、アクチュエータで発生した力をレンズ128に伝えるものである。また、図中の記号aおよびbは、それぞれ可動レンズ128および128'の中心を表す。

【0125】

また、図16には、出力側スイッチ要素に相当する部分が示されている。この図には、入力側可動レンズ128で偏向された光が、出力側の可動レンズ138で集光され、光ファイバ30に入力される様子が示されている。図中、アクチュエータ140aおよび140bは、可動レンズ138を移動させるためのモータである。梁142aおよび142bは、アクチュエータで発生した力をレンズ138に伝えるものである。図中には、移動後の可動レンズ138'が示されている。

【0126】

光ファイバ28からの光束134は、可動レンズ128でコリメートされる。可動レンズ128を記号128'で示す位置に移動させることに対応して、コリメート後の光束136は光束136'のように偏向される(図15)。出力側ではこの逆過程が行われ、入力側で偏向された光束はレンズ138(138')を通過後、光ファイバ30に入力される(図16)。

【0127】

レンズ移動距離を ΔS とすると、偏向角 θ は

$$\theta = \Delta S / f \cdots (17)$$

で表される。移動距離 ΔS の最大値に対して、レンズ128の直径 Φ_L は光束の径 Φ をカバーする必要があるので、下式(18)

$$\Phi_L = \gamma (2 \Delta S + \Phi) \cdots (18)$$

が成立しなければならない。

【0128】

ここで γ は $\gamma > 1$ を満たす値のパラメータである。両方のアクチュエータの収納スペースを $2\alpha\Delta S$ で表す。 α は $\alpha > 1$ を満たす値のパラメータである。よって、光偏向素子のサイズは $\Phi_L + 2\alpha\Delta S$ となる。したがって、ポートの配列面の一边の大きさは $(\Phi_L + 2\alpha\Delta S) N^{1/2}$ となる。したがって、必要とされる最大偏向角 θ_m は

$$\theta_m = (\Phi_L + 2\alpha\Delta S) N^{1/2} / L \cdots (19)$$

で与えられる。(10)、(11)、(18)、(19)式より、

$$\theta_m = N^{1/2} \{ \gamma (2\Delta S + f\theta_d) + 2\alpha\Delta S \} / \{ \pi (f\theta_d)^2 / \lambda \} \cdots (20)$$

が得られる。

【0129】

一方、最大移動距離を ΔS_{MAX} とすれば、(17)式より $\Delta S_{MAX} / f = \theta_m$ である。よって、 f の値は次式(21)で与えられる。

【0130】

$$f = \Delta S_{MAX} N^{1/2} (2\gamma + 2\alpha) / \{ \pi \theta_d \Delta S_{MAX} / \lambda - \gamma N^{1/2} \} \cdots (21)$$

(21)式と(10)式とより L の値が求まる。出力側で誤差を%で表し、 $\delta \Delta S_m / \Delta S_{MAX} = \varepsilon$ とすると

$$L = (\pi / \lambda) (\delta \Delta S_m / \varepsilon) N^{1/2} (2\gamma + 2\alpha) / \{ \pi \theta_d (\delta \Delta S_m / \varepsilon) / \lambda - \gamma N^{1/2} \} \cdots (22)$$

を得る。チャンネル数 N が増加すると L は増加する傾向がある。やはり、可動ミラーの場合と同様に θ_d が大きいほど L が短くなり実現性が高まる。

【0 1 3 1】

計算例を示す。 $\alpha = 1$ 、 $\gamma = 1$ として、他のパラメータを可動ミラーの場合と同一にすると、 $N = 529$ 、 $L = 28$ (cm) を得る。

【0 1 3 2】

以上説明したように、チャネル数 N を増大するためには L を長く取らなければならない。 L を長くするにはビーム径 Φ を大きくする必要がある。しかし、 Φ を大きくするに当たり、光ファイバの回折角 θ_d が小さいと焦点距離が長くなるため、角度誤差による焦点位置ずれが大きくなる。

【0 1 3 3】

〔第3の実施の形態〕

次に、以上の点を踏まえて、第3の実施の形態の光スイッチにつき説明する。この実施の形態の光スイッチでは、チャネル数を増大するために、光ファイバの回折角 θ_d を拡大する光学系が組み込まれている。

【0 1 3 4】

第3の実施の形態の光スイッチの基本的な構成は、図13に示した装置と同様である。すなわち、光入力ポートに接続された入力側光ファイバと、光出力ポートに接続された出力側光ファイバと、これら光ファイバ間に挿入されたコリメータ系とが備えられる。また、入力側および出力側のそれぞれに可動レンズまたは可動ミラーで構成された光偏向素子が備えられる。

【0 1 3 5】

図17は、第3の実施の形態の光スイッチの要部構成を示す図である。図17には、入力側のコリメータレンズ120と、入力側の光ファイバ144とが示されている。図17には、光偏向素子の図示が省略されているが、上述したようにコリメータレンズ120そのものを可動レンズとして用いることもある。また、光ファイバ144の端面が光入力ポートとして用いられる。出力側の構成も図17の構成と同様である。

【0 1 3 6】

そして、この実施の形態の光スイッチでは、光入力ポートおよび光出力ポートに、それぞれ入力側光ファイバおよび出力側光ファイバの光入出力角を拡大する

ための光学系が備えられる。図 1 7 には、入力側の光ファイバ 1 4 4 の光入力ポートに備えられたこの光学系 1 4 6 が示されている。

【0 1 3 7】

光学系 1 4 6 は、光ファイバ 1 4 4 の端部に形成されている。この光ファイバ 1 4 4 の端部は、端面 1 4 4 a に向かって広がるテーパ構造のコア 1 4 8 と、コア 1 4 8 を被覆するクラッド 1 5 0 とで構成される。そして、端面（出射面）1 4 4 a は凹面形状、この例では円錐形状としてある。

【0 1 3 8】

上述した光ファイバ 1 4 4 の端部では、光ファイバ内において導波光は平面波になっている。この平面波を反射あるいは屈折現象を用いて所望の角で発散していく光に変換する。出射面 1 4 4 a が円錐状反射面であれば光は同心円状の光束として伝搬し、コリメータレンズ 1 2 0 通過後はいわゆるベッセルビーム的に伝搬してゆく。出射面 1 4 4 a が円錐状の屈折面であっても同様であるが、この面での全反射角度の制限から光ファイバ 1 4 4 における回折角 θ_d は 48° が限界である。それでも通常の構成に比して 4 倍の改善がなされる。

【0 1 3 9】

出射面 1 4 4 a は、円錐面以外にも例えば凹レンズ形状にしても良い。

【0 1 4 0】

コア 1 4 8 のテーパ構造は必ずしも必要ではないが、このような構造は焦点位置のずれに対する許容度を増大させる。他に例えば MMI (multi-mode interference) カブラ構造を採用しても良い。

【0 1 4 1】

次に、この実施の形態の光スイッチの動作につき説明する。例えば上述したコリメータレンズ 1 2 0 を可動レンズとした場合、出力側のどのコリメータレンズへ光を送り込むかの情報に基づきレンズ 1 2 0 が駆動される。その結果、チャネル間の切り替えが行われる。また、光が送り込まれた出力側のコリメータレンズ（可動レンズ）の微小な角度調整によって、出力側光ファイバに最大光量で光が入力されるようにする。必要な切り替え角度は、出力側のレンズピッチ、レンズ数、入出力光偏向素子間距離 L で決定される。この角度は、可動ミラー型の場合

には θ_d に無関係に設定できる。一方、可動レンズ型の場合には f が短いほど偏向角が大きくなり、 L が縮小する。

【0 1 4 2】

図 1 7 に示す構成では、回折角 θ_d を大きくとることにより、必要な光束幅を確保しつつレンズ 1 2 0 とレンズ焦点面との距離 f を縮めることが可能となっている。これにより、角度変化 $d\theta$ に対する焦点位置変化 $f d\theta$ が低減される。

【0 1 4 3】

以上説明した光スイッチによれば、回折角度を n 倍することで、同一の精度で実現可能なチャネル数 N を n^2 倍にすることが可能である。すなわち、チャネル数が N であれば従来に比べて必要な精度は n 倍緩和される。

【0 1 4 4】

なお、例えば出射面 1 4 4 a を上述の形状とする代わりに凹レンズを用いることもできるが、その場合は、レンズ前の角度変化が拡大されてしまう問題を解決する必要がある。すなわち位置変化減少によるロス減少と、入力角変化増大によるロス増大のトレードオフが問題となる。上述した形状の出射面 1 4 4 a を採用すればこの問題は無い。

【0 1 4 5】

図 1 7 に示した構成の他にも、例えば図 1 8 に示す光学系を用いることも回折角の拡大に有効である。図 1 8 は、第 3 の実施の形態の光スイッチの変形例の要部構成を示す図である。図 1 8 には、出力側のコリメータレンズ 1 2 2 と、出力側の光ファイバ 1 5 4 とが示されている。光ファイバ 1 5 4 の端面が光出力ポートとして用いられる。入力側の構成も図 1 8 の構成と同様である。

【0 1 4 6】

図 1 8 に示す光学系 1 5 2 は、出力側の光ファイバ 1 5 4 の端部に形成された凸レンズ形状の光が入射する面 1 5 4 a である。この系では先球部（光が入射する面）1 5 4 a を凸レンズとして用い、この凸レンズの焦点 1 5 6 をコリメータレンズ 1 2 2 との共焦点にしている。この凸レンズの焦点距離が十分に小さければ回折角を大きくすることができる。その結果、コリメータレンズ 1 2 2 に入射する光は、その角度誤差が拡大された状態で光ファイバ 1 5 4 に入力されるよう

になる。凸レンズとコリメータレンズ 1 2 2 との焦点比を r にすると倍率は r 倍である。 r は必要な光束（ビーム）径 Φ と光ファイバのモード径との比に一致する。光ファイバ 1 5 4 への入力許容角度は 0.5 dB で 1.5 倍程度である。光ファイバ 1 5 4 のコア 1 4 8 は、この許容角度を保ったまま r の比をあまり大きくしないようにするために、テーパ構造にしてある。

【0 1 4 7】

〔第 4 の実施の形態〕

第 3 の実施の形態では、回折角 θ_d を増大するための光学系を示したが、その代わりにビーム径 Φ を増大する光学系を用いても良い。

【0 1 4 8】

第 4 の実施の形態の光スイッチの基本的な構成は、図 1 3 に示した装置と同様である。すなわち、光入力ポートに接続された入力側光ファイバと、光出力ポートに接続された出力側光ファイバと、これら光ファイバ間に挿入されたコリメータ系とが備えられる。また、入力側および出力側のそれぞれに可動レンズまたは可動ミラーで構成された光偏向素子が備えられる。

【0 1 4 9】

図 1 9 は、第 4 の実施の形態の光スイッチの要部構成を示す図である。図 1 9 には、出力側のコリメータレンズ 1 5 8 と、出力側の光ファイバ 1 6 0 とが示されている。光ファイバ 1 6 0 の端面は上述した光出力ポートとして用いられる。入力側の構成も図 1 9 の構成と同様である。なお、図 1 9 では、光偏向素子の図示が省略されている。また、図 1 9 では、光ファイバ 1 6 0 のクラッドの図示が省略されている。

【0 1 5 0】

さらに、この実施の形態の光スイッチでは、光入力ポートおよび光出力ポートに、それぞれ光のビーム径を拡大するための光学系を備えている。図 1 9 には、出力側の光ファイバ 1 6 0 の光出力ポートに備えられたこの光学系 1 6 2 が示されている。

【0 1 5 1】

具体的に光学系 1 6 2 は、 $m^2 \times 1$ カプラ 1 6 4 (m は整数) とコリメータレ

レンズ 1 5 8 とで構成される。 $m^2 \times 1$ カプラ 1 6 4 は、光ファイバ 1 6 0 の端部に結合された幅広の導波部である。また、コリメータレンズ 1 5 8 は、カプラ 1 6 4 の端面に対向して設けられ、このカプラ 1 6 4 の端面に平行な面内に配置された複数個の小レンズ 1 5 8 a で構成されている。

【0 1 5 2】

この構成によれば、小レンズ 1 5 8 a の各々で分担して集光が行われ、集光された光の各々がカプラ 1 6 4 で合流された後に光ファイバ 1 6 0 に入力される。よって、同一の光束径、焦点距離であっても必要な回折角の大きさは m 分の 1 (Φ_L / Φ) とすることができる。

【0 1 5 3】

なお、小レンズ 1 5 8 a が有限個の場合、よく知られているように副光束の存在が問題となる。入出力とも図 1 9 の構成とするときには目的としていない入力光（副光束）を受けないように、入出力光偏向素子間の距離、ピッチ（すなわち光偏向素子間の角度）を設定する必要がある。

【0 1 5 4】

なお、この実施の形態では、小レンズ 1 5 8 a を光束発生、コリメート用素子として用いているが、同様の機能を有する他の素子、例えば回折格子、球面ミラーなどであっても良い。

【0 1 5 5】

以上説明した光スイッチによれば、回折角度を n 倍することで同一の精度で実現可能なチャネル数 N を n^2 倍にすることが可能である。すなわち、チャネル数が N であれば従来に比べて必要な精度は n 倍緩和される。

【0 1 5 6】

〔第 5 の実施の形態〕

図 2 0 は、第 5 の実施の形態の光スイッチの構成を示す図である。この光スイッチは、複数個の光入力ポート 1 0 と、複数個の光出力ポート 1 4 とを有している。また、光入力ポート 1 0 の各々に、光信号の入射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラー 1 6 6 が入力側光偏向素子として備えられる。また、光出力ポート 1 4 の各々に、光信号の出射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラー 1 6 8 が出

力側光偏向素子として備えられる。さらに、入力側および出力側光偏向素子間に、入力側の可動ミラー 1 6 6 で反射された光を出力側の可動ミラー 1 6 8 上に集光するための光学素子 1 7 0 が設けられている。

【 0 1 5 7 】

また、この例では、光入力ポート 1 0 への光入力手段として、光ファイバ 2 8 が用いられる。この光ファイバ 2 8 の出力端面が、上述の光入力ポート 1 0 に接続されている。また、光出力ポート 1 4 からの光出力手段として、光ファイバ 3 0 が用いられる。この光ファイバ 3 0 の入力端面が、上述の光出力ポート 1 4 に接続されている。

【 0 1 5 8 】

また、この例では、光入力ポート 1 0 の数に応じた個数の可動ミラー 1 6 6 が基板 1 7 2 上に設置されている。同様に、光出力ポート 1 4 の数に応じた個数の可動ミラー 1 6 8 が基板 1 7 4 上に設置されている。これら可動ミラーの構成は、図 1 1 を参照して説明した可動ミラーの構成と実質的に同じである。

【 0 1 5 9 】

また、この例では、光入力ポート 1 0 および可動ミラー 1 6 6 間に、光入力ポート 1 0 ごとにコリメータレンズ 1 7 6 が設けられている。同様に、光出力ポート 1 4 および可動ミラー 1 6 8 間に、光出力ポート 1 4 ごとにコリメータレンズ 1 7 8 が設けられている。これらコリメータレンズを可動レンズとしても良い。この例では、これらコリメータレンズを、設計により任意方向に集光可能な回折格子素子により構成している。

【 0 1 6 0 】

上述の光学素子 1 7 0 は、複数個のレンズが一平面内に配列された構造のコリメート用素子である。可動ミラー 1 6 6 および 1 6 8 が光学素子 1 7 0 を介して直線状の光路で結ばれているときには、上述した可動ミラー 1 6 6、1 6 8 のピッチが、光学素子 1 7 0 を構成するレンズのピッチの 2 倍になるように、これらレンズは配列される。光学素子 1 7 0 を構成するレンズの直径は、コリメート長に応じたものが必要でありこれは (1 0) 式で与えられる。

【 0 1 6 1 】

また図 2 0 において、各部を結ぶ点線及び一点鎖線は、各部におけるこの光の経路を概略的に示したものである。

【 0 1 6 2 】

光学素子 1 7 0 を構成するリレーレンズが一つ置きに、1 6 6、1 6 8 の個々の可動ミラーと対向するように、配置される。これにより、1 6 6 と 1 6 8 を結ぶすべての経路が光学素子 1 7 0 を通過する。

【 0 1 6 3 】

光学素子 1 7 0 を構成する各々のリレーレンズの直径は、回折を抑えるためにある程度以上の大きさが必要となる。この直径は、文献 1 に開示された技術による光スイッチにおいて、コリメート系の最もビーム径の大きい部分に、可動ミラーを設けた系でのミラー直径と同一の値とする。具体的には、2 0 0 ~ 3 0 0 μ m 程度である。

【 0 1 6 4 】

なお、図 2 0 において、レンズ 1 7 6、1 7 8、1 7 0 は、可動ミラー 1 6 6、1 6 8 と同様に、基板上に形成することが可能である。そして、可動ミラー 1 6 6、1 6 8 と光学素子 1 7 0 との間に凸レンズを挿入すれば、光学素子 1 7 0 を構成するレンズのピッチを低減することができる。

【 0 1 6 5 】

光入力ポート 1 0 とコリメータレンズ 1 7 6 との距離、および光出力ポート 1 4 とコリメータレンズ 1 7 8 との距離は、後述するようにレンズ 1 7 6 と可動ミラー 1 6 6 との距離、およびレンズ 1 7 8 と可動ミラー 1 6 8 との距離よりも著しく近くすると可動ミラー 1 6 6、1 6 8 の制御誤差が低減される。

【 0 1 6 6 】

この構成によれば、ファイバ 2 8 からの光は、レンズ 1 7 6 によって集光され、ミラー 1 6 6 にむかって、偏向（固定角度）される。そして、入力側可動ミラー 1 6 6 によって、光は所望の出力側可動ミラー 1 6 8 の方向に偏向される。途中、入力側可動ミラー 1 6 6 で反射された光は、光学素子 1 7 0 によって集光される。出力側可動ミラー 1 6 8 によって、光は所望のコリメータレンズ 1 7 8 の方向に偏向される。コリメータレンズ 1 7 8 で集光された光は、レンズ 1 7 8 に

対応する光出力ポート 1 4 に接続された光ファイバ 3 0 に入力される。

【 0 1 6 7 】

このように、レンズ 1 7 0 より後側の出力側は、ミラー 1 6 8、レンズ 1 7 8、ファイバ 3 0 によって、入力側光スイッチ要素の動作の順序とは逆の順序で動作が行われる。このため、レンズ 1 7 6、1 7 8 は、集光と偏向が可能なホログラムタイプであることが望ましい。

【 0 1 6 8 】

このようにすれば、光ファイバ 2 8、3 0 の入力または出力端の配置をレンズ 1 7 6、1 7 8、1 7 0 と平行にすることができるため、すべての光ファイバ 2 8、3 0 からの光をミラー 1 6 6 または、1 6 8 上でコリメート光の最小径とする（集光する）ことが可能となる。

【 0 1 6 9 】

レンズ 1 7 6 もしくは 1 7 8 によって集光され、偏向された光束の、可動ミラー 1 6 6 もしくは、光ファイバ 3 0 上における中心位置は、偏向角がずれても集光位置の変動は殆ど無い。光ファイバへの入力角度変動はあるが、これは集光の位置の変動よりも影響が小さいためにロス変動は小さく抑えられる。

【 0 1 7 0 】

次に、図 2 1 および図 2 2 を参照して、誤差の光線行列による解析を行う。図 2 1 (A) には、図 2 0 に示した光スイッチのうちの可動ミラー 1 6 6、光学素子 1 7 0 および可動ミラー 1 6 8 の部分が示されている。図 2 1 (B) および図 2 2 には、図 2 0 に示した光スイッチのうちの可動ミラー 1 6 8、コリメータレンズ 1 7 8 および光ファイバ 3 0 の部分が示されている。

【 0 1 7 1 】

光線行列による解析では、光線位置および光線角度を成分とするベクトル（光線位置、光線角度）が用いられる。また、ある光学系を通った光線がどう変化するかを記述する 2×2 行列 (M) が光線行列として用いられる。行列 (M) の、第 1 行第 1 列成分、第 1 行第 2 列成分、第 2 行第 1 列成分および第 2 行第 2 列成分をそれぞれ m_{11} 、 m_{12} 、 m_{21} 、 m_{22} と表す。

【 0 1 7 2 】

図 2 1 (A) の場合、可動ミラー 1 6 6 と光学素子 (レンズ) 1 7 0 との間の
光線行列は下式 (2 3 a) ~ (2 3 d) で表される。

【 0 1 7 3 】

$$m_{11} = 1 - L / (2 f) \quad \dots (2 3 a)$$

$$m_{12} = L - L^2 / (4 f) \quad \dots (2 3 b)$$

$$m_{21} = - 1 / f \quad \dots (2 3 c)$$

$$m_{22} = 1 - L / (2 f) \quad \dots (2 3 d)$$

ここで、 f はレンズ 1 7 0 の焦点距離である。また、ミラー 1 6 6 とレンズ 1
7 0 との距離、およびレンズ 1 7 0 とミラー 1 6 8 との間の距離は共に $L / 2$ で
ある。 $L / 2 = 2 f$ の場合には、光線行列は下式 (2 4 a) ~ (2 4 d) で表さ
れる。

【 0 1 7 4 】

$$m_{11} = - 1 \quad \dots (2 4 a)$$

$$m_{12} = 0 \quad \dots (2 4 b)$$

$$m_{21} = - 4 / L \quad \dots (2 4 c)$$

$$m_{22} = - 1 \quad \dots (2 4 d)$$

よって、ミラー 1 6 6 の角度によってミラー 1 6 8 上での位置ずれが生じるこ
とが無くなる。ミラー 1 6 6 の角度によって、ミラー 1 6 8 上での焦点位置ずれ
から生じる角度ずれを無くすこともできる。

【 0 1 7 5 】

光ファイバ 3 0 への光の入力角度を θ_e とし、光ファイバ 3 0 の入力端面にお
ける光束の位置ずれを δ とし、ミラー 1 6 8 の角度を θ_{cnt} とすると

$$\theta_e = - 4 \delta / L - \theta_{cnt} \quad \dots (2 5)$$

が成り立つ。

【 0 1 7 6 】

図 2 1 (B) の場合、ミラー 1 6 8 と光ファイバ 3 0 との間の光線行列は下式
(2 6 a) ~ (2 6 d) で表される。

【 0 1 7 7 】

$$m_{11} = 1 - d / f \quad \dots (2 6 a)$$

$$m_{12} = d_1 + d - d_1 d / f \quad \dots (26b)$$

$$m_{21} = -1 / f \quad \dots (26c)$$

$$m_{22} = 1 - d_1 / f \quad \dots (26d)$$

ここで、 d_1 はミラー168とレンズ178との間の距離を表し、 d はレンズ178と光ファイバ30の入力端面との間の距離を表している。 $1/d + 1/d_1 = 1/f$ の場合、 $m_{12} = 0$ となり、ミラー168の角度によって光ファイバ30での焦点位置が変化することが無くなる。このとき、光線行列は下式(27a)～(27d)で表される。

【0178】

$$m_{11} = -d / d_1 \quad \dots (27a)$$

$$m_{12} = 0 \quad \dots (27b)$$

$$m_{21} = -1 / f \quad \dots (27c)$$

$$m_{22} = -d_1 / d \quad \dots (27d)$$

d/d_1 を小さくすることによって、図22に示したような光束の位置ずれ δ による像の位置ずれ $x_e = d/d_1 \delta$ を小さくすることが可能である。また、光ファイバ30に入力する光の入力角度 θ_e は

$$\theta_e = -\delta / f - \theta_{cnt} d_1 / d \quad \dots (28)$$

で表される。

【0179】

角度 θ_e もミラー168の角度 θ_{cnt} を調整することによって実質的に0度にすることが可能である。

【0180】

一般的に光ファイバ30の入力許容角度は1.5度程度あり、マイクロマシンミラーの可能偏向角(6～10度)に比べて大きい。そのため、焦点位置 δ の許容誤差(1 μ m)よりも条件がゆるいと考えられる。また、 δ に対して f と L が充分大きければ θ_e は無視できるほど小さくなる。

【0181】

レンズ176、178を半固定の可動型とすることにより、組み立て時に光ファイバ28、30の位置がずれていても、ミラー166、168での光束のスボ

ット位置を中心にもってることが可能である。レンズ176、178は位置合わせ終了後は動かさず、光路の切り替えはミラー166、168により行う。あるいは $m12 = d_1 + d - d_1 d / f = de$ を微小量とすることによって、ミラー166、168の粗い角度制御でわずかな焦点位置変化を得ることが可能になる。よって、組み立て精度の調整が可能となる。

【0182】

以上説明したように、この実施の形態の光スイッチによれば、光学素子170を構成するレンズのいずれかを選択するようなミラー166、168の大きな角度変化で光路切り替えがなされる。レンズ170に当てられていさえすれば光束の厳密な位置は問題とならないため、ミラー166、168の角度制御精度が緩和される。このため、ミラー切り替えを高速で行うことが可能となる。

【0183】

また、図23には、第5の実施の形態の光スイッチの第1変形例が示されている。図20に示した光スイッチでは、レンズ170のピッチがミラー166、168のピッチの2分の1であったが、図23にはこれらのピッチが概略等しい例が示されている。そのために、ミラー166、168に対応するミラー182、184のピッチが図23の例では図20の例に比べて小さくなっている。また、光学素子170の代わりに、ホログラムのような偏向機能と集光機能とを合わせ持つ光学素子（レンズ）180が用いられている。この例では、光学素子180を構成するレンズが、入力側光偏向素子（可動ミラー182）および出力側光偏向素子（可動ミラー184）間における光経路に対応して個別に設けられる。

【0184】

図23中の光路186に注目する。図20ではこの光路に対応する光路を伝搬する光が、ミラー166で反射された後、最も左側のレンズ170に入っている。しかし、図23の光路188aのように、光路186を進む光がミラー182で反射された後に、ここでは中央より一つ左のレンズ180に入るようにする。また、光路186を進む光のうち、ミラー182で反射された後に最も左のレンズ180に入る光路188bを進む光は、集光と偏向を受け、図20の場合と同じく最も左のミラー184に入るようにする。ミラー182、184の動作で角

度を図中の左右（188a側および188b側）に振れるようになるため、チャネル数が倍になる。また、ミラー182を搭載した基板172と、ミラー184を搭載した基板174とを小型化できる。

【0185】

また、図24には、第5の実施の形態の光スイッチの第2変形例が示されている。図24に示した光スイッチでは、表面に反射面を有した光学素子190が図20の光学素子170の代わりに設けられる。その結果、入出力ポートの共通化が図れる。したがって、出力側の可動ミラー168、コリメータレンズ178、光ファイバ30などは不要である。

【0186】

次に、第6以降の実施の形態を説明するが、これらの実施例の目的を説明するために、この発明の第1～第5の実施の形態における改良すべき点を述べる。そのため、上述した各実施の形態の構成において、光偏向素子を基板上に配置した場合、基板の周縁側にある素子に注目する。

【0187】

例えば図1の光スイッチにおいて、入力側光スイッチ要素12を構成する光偏向素子群20のうちで、基板の上部の縁に近い位置にある光偏向素子18bが、出力側基板のポート14を選択する場合を考える。ここでは、新たに図1と同様の図26を参照して説明する。

【0188】

このとき水平方向X以下の偏向角、すなわち例えば図26中における水平方向（X方向）に対し、下向き方向（Y方向）の光束の偏向角 θ_x で光束を偏向する必要があり、水平方向X以上、即ち例えば図26中における、水平方向（X方向）に対し、上向き方向（Y方向）の光束の偏向角 $\theta_{x'}$ はムダになる。

【0189】

一方、基板の中央付近にある偏向素子に注目すると、このような偏向角 θ_x 、 $\theta_{x'}$ 、すなわち上下方向Yの偏向は可能である。

【0190】

出力側スイッチ要素16における、基板の一番上に位置する光偏向素子群24

から、基板の一番下に位置する光偏向素子群 2 4 までの垂直方向（Y 方向）の長さを L_S とし、光偏向素子 1 8 b から対向する基板において同じ位置にある光偏向素子 2 2 a までの水平方向（X 方向）の距離を L とする。

【 0 1 9 1 】

このとき、上述したような基板の周縁側にある光偏向素子においては、必要とする偏向角は L_S / L である。それに対し、基板の中央付近に位置する偏向素子では、上下方向 Y の偏向が可能であるため、必要とする偏向角は、 $L_S / (2 L)$ となり基板の周縁側にある偏向素子の半分でよい。

【 0 1 9 2 】

よって、上下方向 Y では、基板の中央付近に位置する一つの素子で可能なチャネル数は、基板の周縁側付近に位置する一つの素子と比べて、2 倍のチャネル数となる。

【 0 1 9 3 】

すなわち、基板の周縁側に位置する一つの偏向素子において可能なチャネル数は、中央付近に位置する一つの素子の 4 分の 1 である。

【 0 1 9 4 】

これは、第 1 ～ 第 5 の実施の形態に共通である。すなわち、これらの光スイッチにおいて、光入力側のスイッチ要素を構成する素子は、これに対向する光出力側のスイッチ要素を構成する真向かいの素子から、出力基板の反対側の周縁側にある素子までの角度として、垂直を境にした半分の空間しか使用しない。そのため、素子の取り得る可能な偏向角の半分しか使用していないという改良すべき点があった。第 6 以降の実施の形態はこの点を鑑みて成されたものである。以下、この第 6 の実施の形態より順に説明する。

【 0 1 9 5 】

〔第 6 の実施の形態〕

図 2 7 に、第 6 の実施の形態の構成例を示す。この光スイッチ 2 7 0 0 は、複数個の光入力ポート 2 7 0 2 を有する入力側スイッチ要素 2 7 0 4 と、複数個の光出力ポート 2 7 0 6 を有する出力側スイッチ要素 2 7 0 8 とを備えている。この光スイッチ 2 7 0 0 において、光入力ポート 2 7 0 2 のいずれかに入力された

光信号は、光出力ポート 2 7 0 6 のいずれかから出力する。

【 0 1 9 6 】

また、この光スイッチ 2 7 0 0 は、入力側スイッチ要素 2 7 0 4 と、出力側スイッチ要素 2 7 0 8 との間に配設されていて、入力ポート 2 7 0 2 からの各光信号が、入射光として入射され、かつ、入射光に対応する出射光を、光線束の中心光路が互いに平行となるように、出射させる光学素子 2 7 1 0 が設けられている。

【 0 1 9 7 】

この光学素子 2 7 1 0 が透過型か反射型かによって、入力ポート 2 7 0 2 及び出力ポート 2 7 0 6 の位置は変化する。光学素子 2 7 1 0 として、一枚で構成される凸レンズ、或いはホログラムが用いられることが好ましいが、ここでは、凸レンズを用いた例につき説明する。

【 0 1 9 8 】

また、この光スイッチ 2 7 0 0 において、入力側スイッチ要素 2 7 0 4 は、光学素子 2 7 1 0 の焦平面に配置されている。ここでは、焦平面とは光学素子 2 7 1 0 の焦点を通り、中心軸に直交している面である。よってこの光学素子 2 7 1 0 と入力側スイッチ要素 2 7 0 4 間の距離は、光学素子 2 7 1 0 の焦点距離 f_{27} となる。

【 0 1 9 9 】

一方、光学素子 2 7 1 0 を挟んでその前後の対称の位置に、出力側スイッチ要素 2 7 0 8 と入力側スイッチ要素 2 7 0 4 とを配置すれば、すべての入力ポート 2 7 0 2 から出射した光を、出力側スイッチ要素 2 7 0 8 に集めることができる。よって、この光学素子 2 7 1 0 と出力側スイッチ要素 2 7 0 8 間の距離は、光学素子 2 7 1 0 の焦点距離 f_{27} となる。

【 0 2 0 0 】

ここで、複数個の入力ポート 2 7 0 2 の各々は、これら入力ポートに対応付けられた入力側レンズ系 2 7 1 2 を有している。また、複数個の出力ポート 2 7 0 6 の各々は、これら出力ポートに対応付けられた出力側レンズ系 2 7 1 4 を有している。入力側レンズ系 2 7 1 2 から出力側スイッチ要素 2 7 0 8 へ光が出射す

る面 z_0 、及び出力側スイッチ要素 2 7 0 8 における入力側レンズ系 2 7 1 2 からの光が入射する面 z_1 には、それぞれ凹レンズ 2 7 1 6 が設置されている。

【0 2 0 1】

図 2 7 に示した各部を繋ぐ直線は、各部における光束の形状を概略的に表したものである。この光束の形状を参考にしながら、各部の動作について説明する。

【0 2 0 2】

この光スイッチ 2 7 0 0 において、入力側スイッチ要素 2 7 0 4 から出た光束（ビーム）は、凸レンズ 2 7 1 0 によって集光され、出力側スイッチ要素 2 7 0 8 に入射される。ここで、入力側レンズ系 2 7 1 2 から出射した光が光信号出射面 z_0 上にある点から発散するような光であると、凸レンズ 2 7 1 0 の後で平行光になってしまう。そこで、入力側レンズ系 2 7 1 2 の光が出射する面 z_0 に、凹レンズ 2 7 1 6 を設けてある。

【0 2 0 3】

更に、図 2 7 に示したように、この凹レンズ 2 7 1 6 に入射する光が平行光であるとする。そして、この平行光は凹レンズ 2 7 1 6 を通過後、発散され、凸レンズ 2 7 1 0 に入射される。この凸レンズ 2 7 1 0 内では光は平行光となっている。

【0 2 0 4】

さらに、出力側レンズ系 2 7 1 4 の光が入射する面 z_1 に、凹レンズ 2 7 1 6 を設ければ、この凹レンズ 2 7 1 6 を通過した光の形状は、図 2 7 に示したように、光が出射する面 z_0 に設けられた凹レンズへの入射光と同一の平行光となっている。

【0 2 0 5】

つぎに、図 2 9 に、光学素子として凸レンズ 2 7 1 0 のかわりに球面凹面鏡を用いた例を示す。この場合には入力側スイッチ要素と出力側スイッチ要素は共用する。よって、ここでは説明のため、これらを総称して入出力側スイッチ要素 2 9 0 4 とする。

【0 2 0 6】

これらスイッチ要素は、凹面鏡 2 9 1 0 の焦点面内の位置に設ける。焦点面と

は凹面鏡 2 9 1 0 の焦点を通り、中心軸に直交している面である。

【 0 2 0 7 】

尚、光学素子 2 9 1 0 から入出力側スイッチ要素 2 9 0 4 内の偏向素子までの距離は、光学素子 2 9 1 0 の焦点距離 f_{29} となる。

【 0 2 0 8 】

ここで、図中直線で示した矢印は、入出力側スイッチ要素 2 9 0 4 から出射した光線束の形状、また図中点線で示した矢印は、入出力側スイッチ要素 2 9 0 4 へ入射する光線束の中心光路を概略的に示している。

【 0 2 0 9 】

この実施の形態において、入出力ポート 2 9 0 2 から出射した別々の出射角の光束は、凹面鏡 2 9 1 0 で反射されて、別々の入出力ポート 2 9 0 2 に入射される。この場合、凹面鏡 2 9 1 0 で反射された各光線束の中心光路は、互いに平行になっている。

【 0 2 1 0 】

ところで、図 2 7 及び図 2 9 に示したような光スイッチにおいて、入力側スイッチ要素と出力側スイッチ要素は、互いに構成が同一のものをを用いる。

【 0 2 1 1 】

ここで、入力側スイッチ要素 2 7 0 4 の構成を代表して、図 2 8 に示す。

【 0 2 1 2 】

このレンズ系は、固定レンズ 2 8 0 0 と、可動ミラー 2 8 0 2 とから構成される。

【 0 2 1 3 】

尚、2 8 0 0 を可動レンズで構成する場合があっても良い。この場合、可動レンズは、入力側スイッチ要素 2 7 0 4 においては、光ファイバに対する光信号の入射方向に垂直な面内で、そして、出力側スイッチ要素 2 7 0 8 においては、出射方向に垂直な面内で移動が可能のものである。すなわち、この構成例では、可動レンズを用いたとき、この可動レンズは、基板 2 8 0 6 の基板面と平行となるように設けられていて、基板面と平行な方向に移動可能としてある。

【 0 2 1 4 】

一方、可動ミラー 2 8 0 2 は、入力側スイッチ要素 2 7 0 4 においては光信号の入射光線の中心光路を、出力側スイッチ要素 2 7 0 8 のいずれか一つの可動ミラー 2 8 0 2 に向けて、反射させるように回転制御される。また、出力側スイッチ要素 2 7 0 8 においては、光信号の反射光線の中心光路を入力側スイッチ要素 2 7 0 4 のいずれか一つの可動ミラー 2 8 0 2 に向けて反射させるように、回転制御される構成となっている。

【 0 2 1 5 】

また、図 2 7 の光入力ポート 2 7 0 2 への光入力手段として、図 2 8 の光ファイバ 2 8 0 4 が用いられる。この光ファイバ 2 8 0 4 の出力端面が、図 2 7 において光入力ポート 2 7 0 2 に接続されている。

【 0 2 1 6 】

図 2 8 (A) に、この実施の形態において用いる入力側スイッチ要素 2 7 0 4 の第 1 の形態 2 7 0 4 a を示す。

【 0 2 1 7 】

この入力側スイッチ要素 2 7 0 4 a に設けられたレンズ系は、固定レンズ 2 8 0 0 と、基板 2 8 0 6 上に複数設けられた可動ミラー 2 8 0 2 と、これら可動ミラー 2 8 0 2 の各々に対応付けて設けられた凹レンズ 2 7 1 6 とで構成されている。この構成は、凹レンズ 2 7 1 6 を入力側レンズ系の光が出射する面 z_0 に設けたものに対応している。

【 0 2 1 8 】

ここで、可動ミラー 2 8 0 2 は、基板 2 8 0 6 に図示のように集積化されている必要はなく、ひとつひとつ個別に分離して設けられていてもよい。その場合はそれぞれのレンズ系 2 7 1 2 (図 2 7 参照) も一組ずつ個別に設けられることとなる。

【 0 2 1 9 】

この図 2 8 (A) において、各構成要素間をつなぐ直線は、各部における光の形状を概略的に示したものである。よって、この光の形状を参考にしながら、これより各部の動作について説明する。

【 0 2 2 0 】

この入力側のレンズ系において、光ファイバ 2 8 0 4 からの光は、固定レンズ 2 8 0 0 によって集光され、凹レンズ 2 7 1 6 の可動ミラー 2 8 0 2 側の焦点に向かって偏向（固定角度）される。よって、固定レンズ 2 8 0 0 は集光と偏向が可能なホログラムタイプであることが望ましい。

【 0 2 2 1 】

凹レンズ 2 7 1 6 を通過した光は平行光となる。この平行光は可動ミラー 2 8 0 2 で反射され、所望の偏向角を有した平行光になる。この平行光は、凹レンズ 2 7 1 6 によって発散する光となり、後段の光学素子 2 7 1 0 （図 2 7 参照）へ入射される。

【 0 2 2 2 】

つぎに、図 2 8 （B）に、この実施の形態において用いる入力側スイッチ要素 2 7 0 4 の第 2 の形態 2 7 0 4 b を示す。

【 0 2 2 3 】

この入力側スイッチ要素に設けられたレンズ系は、図 2 8 （A）に示したものと構成がほぼ同様である。よって、構成及び図の各部についての重複する記載は省略する。

【 0 2 2 4 】

このレンズ系では、凹レンズ 2 7 1 6 のほかに固定レンズ 2 8 0 0 と可動ミラー 2 8 0 2 との間に、1 枚構成の第 2 の凹レンズ 2 8 0 8 を設けてある。このようにすると、第 2 の凹レンズ 2 8 0 8 によって、光ファイバ 2 8 0 4 からの光束列の間隔を狭めることが可能となるため、可動ミラー 2 8 0 2 の配置を高密度化して集積規模を上げることが可能となる。

【 0 2 2 5 】

なお、第 6 の実施の形態において用いられるレンズ系は、図 2 8 （A）及び（B）に示す構成に限定されない。これらレンズ系の光が入射する面 z_1 、及び光が出射する面 z_0 に凹レンズを設ける構成であるならば、例えば先に説明した、図 3 における可動レンズを用いた構成であってもよい。その場合、これらレンズ系の光が入射する面及び光が出射する面に設けられる凹レンズを二枚目の可動レンズとするのが好ましい。

【0 2 2 6】

次に、図 3 0 に光学素子としてホログラム 3 0 1 0 を用いた例を示す。この光スイッチ 3 0 0 0 の基本的な構成は、図 2 7 に示した構成と同様である。よって、図 3 0 中において、構成及び図の各部についての重複する説明は省略する。

【0 2 2 7】

なお、光スイッチ 3 0 0 0 において、各入力側レンズ系 3 0 1 2、及び各出力側レンズ系 3 0 1 4 とともに構成は同一である。よって、図 3 0 においては、入力側レンズ系 3 0 1 2 を代表して、符号を付して構成要素を示した。

【0 2 2 8】

この光スイッチ 3 0 0 0 において、入力側および出力側におけるレンズ系 3 0 1 2、3 0 1 4 に設けられた図示の各可動ミラー 2 8 0 2 に対して、入出力する光束の中心光路が、同一面（ここでは図示の紙面）内にくる。よって、入力側および出力側におけるレンズ系 3 0 1 2、3 0 1 4 に設けられた各可動ミラー 2 8 0 2 は、一板の基板に集積化できる。また、固定レンズ 2 8 0 0 と光学素子 3 0 1 0 とに対して、入出力する光束の中心光路が、同一平面内に並べられるため、固定レンズ 2 8 0 0 と光学素子 3 0 1 0 をホログラム 3 0 1 0 で一体に基板に作製することが可能となる。

【0 2 2 9】

つぎに、図 3 1 を参照してこれらのレンズ系を基板の上に集積化する方法の例を示す。

【0 2 3 0】

図 3 1 (A) は、基板上に集積されたレンズ系の配置状態を説明するための図である。図 3 1 (B) は、このレンズ系の構成要素の配置関係の説明図であり、図 3 1 (A) は、図 3 1 (B) の A - A' 線に沿った断面を、矢印の方向より見た図に相当する。また、この実施の形態においては、入力側及び出力側で同じ構成のスイッチ要素を用いる。よって、ここでは入力側スイッチ要素 3 1 0 0 におけるレンズ系に注目して、これについて説明する。

【0 2 3 1】

図 3 1 (A) において、凹レンズ 2 7 1 6 がホログラム 3 1 0 2 a, 3 1 0 2

bとともに集積されている基板を基板 a 3 1 0 4 とする。また、可動ミラー 2 8 0 2 が設けられている基板を基板 b 3 1 0 6 とする。そして、基板 a 3 1 0 4、基板 b 3 1 0 6 の裏面側から表面にまで設けられた光ファイバ 2 8 0 4 より光信号は入力する。

【0 2 3 2】

ここで、ホログラム 3 1 0 2 a, 3 1 0 2 b, 凹レンズ 2 7 1 6 が設けられた基板 a 3 1 0 4 は、基板 b 3 1 0 6 に対して、図 3 1 (B) のように配置される。すなわち、マトリックス状に配列された凹レンズ 2 7 1 6 に対して、ホログラム 3 1 0 2 a は、一部分のホログラムは凹レンズと重なり、残りのホログラム 3 1 0 2 b は凹レンズの隙間を埋めるように、やはりマトリックス状に配置される。

【0 2 3 3】

更に可動ミラー 2 8 0 2 を設けた基板 b 3 1 0 6 は、各可動ミラー 2 8 0 2 が、基板 a 3 1 0 4 に設けられたホログラム 3 1 0 2 a、3 1 0 2 b 及び凹レンズ 2 7 1 6 と向かい合うように、基板 a 3 1 0 4 に対して設置される。この配置により、高密度で凹レンズ 2 7 1 6 を並べることができる。

【0 2 3 4】

ここで、図 3 1 (A) に示した各構成要素間をつなぐ直線は、各部における光の形状を概略的に表すものである。この光の形状を参考にして、各部の動作について説明する。

【0 2 3 5】

光ファイバ 2 8 0 4 を出た光信号は、入射光としてホログラム 3 1 0 2 b で反射されるとともに平行光となり、可動ミラー 2 8 0 2 に入射する。そして、可動ミラー 2 8 0 2 で反射された光は、基板 a 3 1 0 4 に設置されているホログラム 3 1 0 2 a と、凹レンズ 2 7 1 6 を通過する。このとき凹レンズ 2 7 1 6 を通過した光は発散すると共に、ホログラム 3 1 0 2 a によって、基板 a 3 1 0 4 に対して垂直方向に出射されることになる。

【0 2 3 6】

次に、図 3 2 を参照しながら、第 6 の実施の形態について行列表現による解析

を行う。

【0237】

図32は、この実施の形態におけるレンズ系と光学素子とを含む光学系における各部の動作を説明するための図である。

【0238】

図32(A)は、この実施の形態における入力側スイッチ要素3204の、入力側レンズ系の光が出射する面に設置された凹レンズ2716と、光学素子3210について、これらにおける光線束の形状を各部をつなぐ直線3202、3206、3208で概略的に示したものである。

【0239】

また、図32(B)は、入力側スイッチ要素3204の入力側レンズ系に設けられた可動ミラー2802と、その光が出射する面に設置された凹レンズ2716、及び光学素子3210について、これらにおける光線束の中心光路の形状を直線3214a、3214b、3214c、矢印3216a、3216b、3216c及び3218a、3218b、3218cで、概略的に示したものである。

【0240】

また、この第6の実施の形態において、入力側及び出力側スイッチ要素の構成は同一である。

【0241】

図32(A)において、レンズ系の光が出射する面に置かれた凹レンズ2716への入射光3202は、平行光である。そして、この平行光3202は凹レンズ2716を通過後発散された光3206となり、光学素子3210に入射する。光学素子3210内部3212の中央では平行光3208となっている。

【0242】

図32(B)において、レンズ系に可動ミラー2802を設けたとき、光線束の中心光路3214a、3214b、3214cに対応するそれぞれの光のうち、可動ミラー2802に対して所望の角度に偏向された光を得ることができる。

【0243】

ここで、図 3 2 (A) において、 f_{32} を凹レンズ 2 7 1 6 とその虚焦点までの距離、 f'_{32} を光学素子 3 2 1 0 の焦点距離、図 3 2 (B) において、 d_{32} を可動ミラーから凹レンズ 2 7 1 6 までの距離、 d'_{32} を凹レンズ 2 7 1 6 から光学素子 3 2 1 0 までの距離とする。

【0 2 4 4】

図 3 2 (A) の動作に対応した光線行列を求めると、その行列要素は、

$$m_{11} = 1 + d'_{32} / f_{32} \cdots (29a)$$

$$m_{12} = d_{32} + d'_{32} + d'_{32} d_{32} / f_{32} \cdots (29b)$$

$$m_{21} = -1 / (2 f'_{32}) + 1 / f_{32} - d'_{32} / (2 f'_{32} f_{32}) \cdots (29c)$$

$$m_{22} = -d_{32} / (2 f'_{32}) + [1 - d'_{32} / 2 f'_{32}] (1 + d_{32} / f_{32}) \cdots (29d)$$

と表される。

【0 2 4 5】

凹レンズ 2 7 1 6 への平行光 (入射角 = 0) 3 2 0 2 が、光学素子 3 2 1 0 の中点で平行光 3 2 0 8 となるためには、 $m_{21} = 0$ となる必要がある。

【0 2 4 6】

したがって、

$$-1 / (2 f'_{32}) + 1 / f_{32} - d'_{32} / (2 f'_{32} f_{32}) = 0 \cdots (30)$$

一方、図 3 2 (B) の動作に対応した光線行列を求めると、

$$m_{11} = 1 + d'_{32} d_{32} / f_{32} \cdots (31a)$$

$$m_{12} = d_{32} + d'_{32} + d'_{32} d_{32} / f_{32} \cdots (31b)$$

$$m_{21} = -1 / f'_{32} + 1 / f_{32} - d'_{32} / (f'_{32} f_{32}) \cdots (31c)$$

$$m_{22} = -d_{32} / (f'_{32}) + [1 - d'_{32} / f'_{32}] (1 + d_{32} / f_{32}) \cdots (31d)$$

である。

【0 2 4 7】

ここで、図 3 2 (A) の凹レンズ 2 7 1 6 から平行光 3 2 0 2 が出射するとき

、凹レンズ 2 7 1 6 からそれぞれの偏向角で出射された全ての光線束 3 2 0 6 が、光学素子 3 2 1 0 を通過後、平行光となるためには、凹レンズ 2 7 1 6 からの光の出射角が、平行光 3 2 0 2 の凹レンズ 2 7 1 6 における入射角に無依存であれば良い。

【0 2 4 8】

よって、(3 1 d) 式において、 $m_{22} = 0$ より、

$$0 = -d_{32} / (f'_{32}) + [1 - d'_{32} / f'_{32}] (1 + d_{32} / f_{32}) \cdots (3 2)$$

を得る。

【0 2 4 9】

(3 0) と (3 2) を同時に満たす条件は、

$$f_{32} / f'_{32} = 1 + d_{32} / f_{32} \cdots (3 3 a)$$

$$d'_{32} = 2 f'_{32} - f_{32} \cdots (3 3 b)$$

である。

【0 2 5 0】

設計可能な極限值は、 $d_{32} = 0$ と、 $d'_{32} = 0$ である。このときそれぞれ、 $f_{32} = f'_{32}$ 、 $d'_{32} = f'_{32}$ と $f_{32} = 2 f'_{32}$ 、 $d_{32} = f_{32}$ が成立している。

【0 2 5 1】

入力側及び出力側レンズ系を含めた全体の系を考えたとき、 $d'_{32} = 0$ の極限では光学素子 3 2 1 0 に対して凹レンズ 2 7 1 6 が入出力側から合体し、しかも、レンズ機能を互いにうち消し合う状態となっており、系に何もレンズが入っていない状態と等価となってしまう。

【0 2 5 2】

また、図 3 2 (B) において、可動ミラー 2 8 0 2 による偏向角を θ とすると、光学素子 3 2 1 0 の後での光束中心位置は、式 (3 1 a) ~ (3 1 d) より $m_{12}\theta$ となる。(3 3 a)、(3 3 b) 式を用いて d'_{32} 、 f'_{32} の式に整理すると、

$$m_{12}\theta = [2(f_{32} - f'_{32}) + d'_{32}] \theta = f_{32}\theta \cdots (3 4)$$

を得る。 $d_{32} = 0$ の極限では、光学素子 3 2 1 0 の後での光束中心位置は m_{12}

$\theta = d'_{32} \theta$ である。

【0 2 5 3】

次に図 3 3 を用いて、光学素子 3 3 1 0 より出力側において、凹レンズ 2 7 1 6 が配置されている光が入射する面 z_1 での光束の様子を調べる。図 3 3 も、基本的な図の各部の構成は、図 3 2 の構成と同様である。この図 3 3 は、光学素子 3 3 1 0 を挟んで形成される入力側スイッチ要素 3 3 2 4 a と出力側スイッチ要素 3 3 2 4 b の、それぞれに設けられた凹レンズ 2 7 1 6 について、光学素子 3 3 1 0 との関係を示したものである。各部における光線束の中心光路を矢印 3 3 2 0 a、3 3 2 0 b、3 3 2 0 c 及び 3 3 2 2 a、3 3 2 2 b、3 3 2 2 c で概略的に表わしてある。

【0 2 5 4】

この第 6 の実施の形態において、光学素子 3 3 1 0 と光が出射する面 z_0 の距離と、光学素子 3 3 1 0 と光が入射する面 z_1 の距離は等しく、この距離を d_{33} とする。そして、入力側スイッチ要素の光が出射する面 z_0 に設置された凹レンズ 2 7 1 6 から、出力側スイッチ要素の光が入射する面 z_1 への光線行列を求める。

【0 2 5 5】

さらに、図 3 2 を参照して求めた今までの光学素子の焦点距離 f'_{32} 、凹レンズの虚焦点までの距離 f_{32} 、凹レンズと光学素子間の距離 d'_{32} の結果を用いて

$$m_{11} = 1 - d_{33} / f'_{32} = f_{32} / f'_{32} - 1 = d_{32} / f_{32} \cdots (35a)$$

$$m_{12} = d_{33} (2 - d'_{32} / f'_{32}) = d'_{32} (f_{32} / f'_{32}) \cdots (35b)$$

$$m_{21} = -1 / f'_{32} \cdots (35c)$$

$$m_{22} = 1 - d_{33} / f'_{32} = f_{32} / f'_{32} - 1 \cdots (35d)$$

となる。

【0 2 5 6】

$d_{32} = 0$ の条件 ($f_{32} / f'_{32} = 0$) では $m_{11} = 0$ となり、入力ポートの光が出射する面 z_0 に設置された凹レンズ 2 7 1 6 における偏向角のみで、出力が

ートの光が入射する面 z_1 での光束の位置が決定する。

【0257】

この出力ポートの光が入射する面 z_1 での光束の直径 R は、凹レンズ 2716 の前の平行光 3202 の光束の直径を r として

$$R = m_{11} r + m_{12} r / f_{32} \cdots (36)$$

である。式 (36) を (33a)、(33b) 式を用いて計算すると、この直径 R は、 r すなわち等倍の系になっている。

【0258】

$d_{32} \neq 0$ では、入力ポートの光が出射する面 z_0 に設けられた凹レンズ 2716 での出力位置が、可動ミラー 2802 の偏向角 θ で異なるため、出力ポートでの光が入射する面 z_1 でそれに対応した位置に光束が入射する。

【0259】

図 33 に示すように、入力ポートにおいて光が出射する面 z_0 に設けられた 2 つの凹レンズ 2716 に注目したとき、これら凹レンズ 2716 の中心間の距離を X_0 とする。このとき、入力ポートから出射された光束が、出力ポートの光が入射する面 z_1 上に到達する位置は、 $\theta = 0$ においてこれら凹レンズ 2716 の中心間距離 X_0 に対して、 m_{11} より $X_0 d_{32} / f_{32}$ である。これが図 32 (B) における、入力ポートの光が出射する面 z_0 に設けられた凹レンズ 2716 における光の出射位置 $d_{0\theta}$ と一致する必要がある。

【0260】

したがって、 X_0 にある入力側レンズ系を選択するには出力側で $\theta = X_0 / f_{32}$ の角度設定をする必要がある。

【0261】

入力側凹レンズ 2716 を出た直後の光束中心 3320a、3320b、3320c は $\theta (1 + d_{32} / f_{32})$ の角度を有している。

【0262】

出力ポートにおける光が入射する面 z_1 での光束位置は

$$\begin{aligned} Y_1 &= m_{11} (X_0 + d_{32} \theta) + m_{12} \theta (1 + d_{32} / f_{32}) \\ &= X_0 d_{32} / f_{32} + \theta d_{32}^2 / f_{32} + \theta d_{33} (f_{32} / f'_{32}) (1 + d_{32} / \end{aligned}$$

$f_{32})$

$$= X_0 d_{32} / f_{32} + \theta f_{32} \cdots (37)$$

である。最後の等式は (33a)、(33b) 式を用いている。入出力を入れ替えて考えたとき、前の段落で求めた $\theta = X_0 / f_{32}$ との整合がとれている。

【0263】

X_0 の最大値 X_{0m} に対する出力ポートにおける光が入射する面 z_1 での光束位置 $X_{0m} d_{32} / f_{32}$ に対して凹レンズ 2716 の半径 $\phi / 2$ が大きい必要がある。 d_{32} / f_{32} は小さい方がよい。

【0264】

この第6の実施の形態の光スイッチにおいて、達成可能な回線数を見積もる。ここで、図1に示したこの発明の光スイッチの構成を振り返って、これを用いながら説明を行う。

【0265】

この第6の実施の形態は、図27に示したように入力側レンズ系の光が出射する面 z_0 には凹レンズ 2716 が設けられている。

【0266】

また、図1に示したような構成のこの発明の光スイッチにおいては、基板 32、36、42、46 上のサイズは、この凹レンズ 2716 の数を考慮すればよい。さらに、入力側スイッチ要素、出力側スイッチ要素とも構成の同じものをもっている。よって、一例として、図1において例えば基板 32 に注目すると、この基板のサイズは $\phi N^{1/2}$ である。

【0267】

ここで、図32(A)、(B)より、凹レンズ 2716 から出射した光の偏向角は、可動ミラー 2802 後の偏向角の $1 + d_{32} / f_{32}$ 倍となる。

【0268】

したがって、 $d_{32} \neq 0$ では偏向角は保存される。最大偏向角 θ_m として、最大スキャン幅は $2 d'_{32} \theta_m$ となる。したがって最大スキャン幅が図1の基板 32、36、42、46 のサイズと一致するとして、

$$N = (2 d'_{32} \theta_m / \phi)^2 \cdots (38)$$

となる。

【0269】

理想的な光学系では、出力側光スイッチ要素に設けられた光ファイバでの角度ずれによる焦点ずれは、 $\delta S = f \delta \theta$ であるので、 $\delta \theta / \theta_m = \varepsilon$ と誤差を表示すれば、

$$N = [2 d'_{32} \delta S / (\varepsilon f \theta)]^2 \dots (39)$$

となる。

【0270】

$d'_{32} / (f \theta)$ を充分大きくとることによりいくらでもチャネル数を増大することが可能である。

【0271】

例えば、 $\delta S = 1 \mu m$ 、 $\varepsilon = 0.01$ 、 $f = 0.5 mm$ 、 $\phi = 80 \mu$ 、 $d_1 = 10 cm$ とすると、 $N = 64$ 万回線となる。 θ_m が $0.1 rad$ に限定されているときには、 $N = 16$ 万回線である。

【0272】

〔第7の実施の形態〕

図34に、第7の実施の形態の構成を示す。この実施の形態における光スイッチ3400の基本的な構成は、図27に示した第6の実施の形態で説明した構成と同じである。よって、同様の構成についての重複する説明は省略する。

【0273】

この光スイッチ3400においては、光学素子として、好ましくは凸レンズまたはホログラムを用いるのが好ましい。ここでは、光学素子として凸レンズを用いた例を示す。

【0274】

この実施の形態の光スイッチ3400において、光学素子としての凸レンズは、入力側スイッチ要素3404及び出力側スイッチ要素3408間の光経路に対応して個別に設けられた第1凸レンズ3410cと、この第1凸レンズ3410cを挟む両側に設けられた2つの第2凸レンズ3410a及び3410bとの組合せで構成してある。これら2つの第2凸レンズ3410a及び3410bの形

状及び物性は同一とする。

【0275】

また、入力側レンズ系3402及び出力側レンズ系3406は、固定レンズ3412及び3418と、可動ミラー3414及び3416とから構成される。

【0276】

尚、3412及び3418を可動レンズで構成する場合があってもよい。この場合、この可動レンズは、入力側レンズ系3402においては、光ファイバに対する光信号の入射方向、そして、出力側レンズ系3406においては、出射方向に垂直な面内で移動が可能のものである。

【0277】

一方、可動ミラー3414及び3416は、入力側レンズ系3402においては光信号の入射光線の中心光路、出力側レンズ系3406においては、光信号の反射光線の中心光路を含む面に垂直な方向の回転軸を有する構成となっている。

【0278】

図35に、この光スイッチ3400における入力側スイッチ要素3404と、出力側スイッチ要素3408間の光路の設定の仕方を示す。図20に示したような第5の実施の形態において説明した光学素子と可動ミラーとの配置関係とは異なり、入力側可動ミラー3414、及び出力側可動ミラー3416は第1凸レンズ3410cに対して、ひとつおきにではなく、第1凸レンズ3410cと同じピッチで基板上に配列されている。第1凸レンズ3410cが順次に接触して連続配列している場合には、これら両可動ミラー3414及び3416もそれぞれ順次に接触して連続配列する。しかし、第1凸レンズの枚数と両可動ミラーの枚数は一致していなくてもよく、これら枚数は設計に応じた任意好適な枚数とすればよい。

【0279】

そして、第1凸レンズ3410cと第2凸レンズ3410a及び3410bとの組合せレンズ（合成レンズ）3410の焦点位置、すなわち焦平面に、入力側可動ミラー3414をそれぞれ配置する。図35にこの組合せ凸レンズの焦点距離を f_{34} で示してある。

【0280】

図中、各部を結ぶ点線3500a～3500c及び点線3502a～3502c、直線3504a、3506aは、各部における光の形状を概略的に示したものである。すると、この入力側可動ミラー3414のうち、ひとつの可動ミラー3414aに注目すると、この可動ミラー3414aから放射状に偏向された光束3500a～3500cは、第2凸レンズ3410a、3410bの後ろにおいて、平行光束3502a～3502cに変換される。

【0281】

この入力側可動ミラー3414aからのすべての光束3500a～3500cが、出力側可動ミラー3416に到達するように配置を行う。すなわち、合成レンズ3410の中心を通り、光軸に直交する軸（レンズの径方向の軸）を対称軸として、合成レンズ3410の前後で対象の位置の光軸に直交する面内に入力側及び出力側可動ミラー3414、3416を配置する。

【0282】

ここで、この合成レンズ3410中に、第1凸レンズ3410cを設置しなかったとすると、図34に示す入力側レンズ系3402に設けられた可動ミラー3414を、第2凸レンズだけの合成レンズの焦平面すなわち焦点位置（あるいは光束の最小径位置）に配置すると、1つの可動ミラー例えば3414bから出射した光束は、この第2凸レンズだけの合成レンズを通過した後で、単純に平行光になってしまう。

【0283】

さらに、第5の実施の形態で述べたような、入力側可動ミラー3414の角度による出力側可動ミラー3416上での焦点位置ずれ、そしてそれによって生じる角度誤差の低減を図るためには、入力側と同様に出力側可動ミラー3416上で焦点を結ばせる必要がある。

【0284】

そのため、光束の偏向方向を決めるための第2凸レンズ3410a、3410bの他に、集光用の第1凸レンズ3410cを設ける。第1凸レンズ3410cは、第2凸レンズ3410a、3410bのような一枚構造であると、その偏向

機能を乱してしまう。この結果、第1凸レンズ3410cは設定された光路に対して、一つずつ設けるレンズアレイ構造とする。

【0285】

この合成レンズ3410を通過した光を、出力側可動ミラー3416上で焦点を結ばせるためには、第1凸レンズ3410cの焦点距離は、第2凸レンズ3410a、3410bと同一であればよい。第2凸レンズ3410a、3410bと第1凸レンズ3410cを組み合わせる（合成する）と、第2凸レンズ3410a、3410bの焦点距離の二分の一の焦点距離となる。

【0286】

そして、入力側可動ミラーのある一つのミラー3414aと、それと対応付けられて基板3422上の同じ位置に配置されている出力側可動ミラー3416aの間の距離が、第1凸レンズ及び第2凸レンズの合成焦点距離の二倍の値に等しくなるように、それぞれの入力側及び出力側可動ミラー3414、3416を配置する。

【0287】

よって、以上のような構成の光スイッチにおいて、入力側可動ミラー3414の、一つのミラー3414bに注目したとき、光3504a、3506aで示したように、この可動ミラー3414bから発散する光3504aは、光3506bのように、出力側可動ミラー3416a上に焦点を結ぶように、入力側及び出力側可動ミラー3414、3416を配置することができる。

【0288】

入力側可動ミラー3414では、光を所望の第1凸レンズ3410cに向けて偏向する。光が出力側可動ミラー3416のどの可動ミラーに到達するかは、この入力側可動ミラー3414と、第1凸レンズ3410cとの相対位置により、決定される。従って、どの位置の第1凸レンズ3410cを選ぶかによって、出力ポートが選択される。

【0289】

入力側可動ミラー3414に属する一つのミラーと、それと対応付けられて基板3422上に設けられている出力側可動ミラーとの間の距離をLとすると、こ

の距離 L は、第 1 凸レンズ 3 4 1 0 c の直径 ϕ と、 $L < \pi \theta^2 / \lambda$ の関係にある。

【 0 2 9 0 】

ここで、図 3 4 に示すような構成の第 7 の実施の形態は、図 2 0 に示すような第 5 の実施の形態に対して、第 2 の凸レンズ 3 4 1 0 a、3 4 1 0 b を導入する改良を行ったものである。よって、図 2 0 に示すような構成の第 5 の実施の形態の光スイッチとの比較を行う。

【 0 2 9 1 】

いま、図 3 4 に示したような光スイッチ 3 4 0 0 において、入力側もしくは出力側可動ミラー 3 4 1 4 及び 3 4 1 6 を一辺に $N^{1/2}$ だけ並べ、基板 3 4 2 0 もしくは 3 4 2 2 に平面内で N 個マトリックス配列したとする。

【 0 2 9 2 】

このとき第 1 凸レンズ 3 4 1 0 c は、これら可動ミラー 3 4 1 4 もしくは 3 4 1 6 に対応して、一辺に $(2 N^{1/2} - 1)$ 個だけ並べられる。この第 1 凸レンズ 3 4 1 0 c の間の配列ピッチを $A \phi$ (A は定数) とすると、基板 3 4 2 0 及び 3 4 2 2 の一辺を、 $s = A \phi N^{1/2}$ とすることができる。

【 0 2 9 3 】

一方、図 2 0 で示すような構成の第 5 の実施の形態の光スイッチにおいては、基板 1 7 2 及び 1 7 4 の一辺は $s = A \phi (2 N^{1/2} - 1)$ になっていた。

【 0 2 9 4 】

よって、図 1 もしくは図 2 6 に示したような光スイッチの各部の配置にあてはめて考えると、第 7 の実施の形態の光スイッチにおいては、基板サイズを面積で 4 分の 1 とすることができる。

【 0 2 9 5 】

また、図 2 0 で説明したような第 5 の実施の形態において、入力側可動ミラー 1 6 6 による最大偏向角を片側 θ_m としたとき、同様に、図 1 もしくは図 2 6 に示したような光スイッチにおける各部の配置にあてはめて考える。

【 0 2 9 6 】

このとき、マトリックス配列された入力ポートにおいて、周縁側に配置された

ポートに設けられた入力側可動ミラー 1 6 6 の偏向角は、 $\theta_m = 2 A \phi N^{1/2} / L$ 必要としていた。

【0 2 9 7】

一方、同様の場合について考えると、この第 7 の実施の形態では、図 2 0 に示したような光スイッチにおける入力側可動ミラー 1 6 6 の偏向角の 2 倍の偏向角が使用できるために、 $\theta_m = A \phi N^{1/2} / L$ となる。すなわち、第 7 の実施の形態では、第 5 の実施の形態と比較して、 θ_m は第 5 の実施の形態の半分でよい。

【0 2 9 8】

したがって、同一の最大偏向角 θ_m に対して、回線数 N では、4 倍増加させることが可能となる。最大偏向角と ϕ 、 N の関連は $N = [(\pi \theta_m \phi) / (\lambda A)]^2$ の関係にある。

【0 2 9 9】

これは、文献 1 に開示された技術と同様の関係である。すなわち、第 5 の実施の形態において既に述べたように、この文献 1 に開示されている光スイッチは、可動ミラーの直径の値を $200 \sim 300 \mu m$ に設定している。一方、図 2 3 に示したような第 5 の実施の形態は、光学素子として設けたリレーレンズの直径の値をこれと同一の値としている。これは、第 5 の実施の形態と類似の構成をもつ、図 3 4 に示したような第 7 の実施の形態における第 1 凸レンズについても同様である。

【0 3 0 0】

以上のことから、この発明の第 5、第 7 の実施の形態の光スイッチについては、可動ミラー 3 3 1 4 もしくは 3 3 1 6 の直径を文献 1 の値よりも小さくすることが可能である点が、文献 1 に開示された光スイッチの構成と異なっている。

【0 3 0 1】

[第 8 の実施の形態における従来例]

次に、この発明の第 8 の実施の形態における従来例を図 2 5 (A) に示す。この光スイッチ 2 5 0 1 0 は、従来既知のものであり、光学素子として固定反射鏡 2 5 0 2 を用いている。

【0 3 0 2】

これより、この光スイッチ 2 5 0 1 0 について説明することにより、第 8 の実施の形態における更なる課題を明らかにする。

【0303】

この光スイッチ 2 5 0 1 0 は、入力側スイッチ要素と、出力側スイッチ要素を共用した構成となっている。よって、ここでは説明のため、入力側スイッチ要素と出力側スイッチ要素を総称して、入出力側スイッチ要素 2 5 0 0 0 とする。また各部をつなぐ点線は、各部における光線束の中心光路を概略的に示したものである。

【0304】

図 2 5 (A) において、入出力側スイッチ要素 2 5 0 0 0 は、光入出力ポート 2 5 0 4 0 a ~ 2 5 0 4 0 c の各々に対応する可動ミラー 2 5 0 6 a ~ 2 5 0 6 c を基板 2 5 0 8 上に設けた構成の光学偏向素子 2 5 1 0 a ~ 2 5 1 0 c を備えている。また、コリメータレンズ（固定レンズ） 2 5 1 2 0 a ~ 2 5 1 2 0 c は、光偏向素子 2 5 1 0 a ~ 2 5 1 0 c の各々に対応して、光ファイバ 2 5 1 4 a ~ 2 5 1 4 c と可動ミラー 2 5 0 6 a ~ 2 5 0 6 c との間に設置される。すなわち、この構成においては、前述の構成の光偏向素子 2 5 1 0 a ~ 2 5 1 0 c とコリメータレンズ（固定レンズ） 2 5 1 2 0 a ~ 2 5 1 2 0 c とで構成されるレンズ系が、各入出力ポート 2 5 0 4 0 a ~ 2 5 0 4 0 c に形成されている。

【0305】

そして、これらのレンズ系の中に、すなわち入力側スイッチ要素と、出力側スイッチ要素との間に、光学素子として一枚で構成される固定反射鏡 2 5 0 2 が設置されている。

【0306】

なお、コリメータレンズ（固定レンズ） 2 5 1 2 0 a ~ 2 5 1 2 0 c は、可動ミラー 2 5 0 6 a ~ 2 5 0 6 c と同様に基板 2 5 0 8 上に形成することが可能である。

【0307】

ここで、この光スイッチ 2 5 0 1 0 における動作について説明する。

【0308】

ある入出力ポート 2 5 0 4 0 a ~ 2 5 0 4 0 c において、光ファイバ 2 5 1 4 a ~ 2 5 1 4 c から出射された光は、コリメータレンズ 2 5 1 2 0 a ~ 2 5 1 2 0 c により所望の可動ミラー 2 5 0 6 a ~ 2 5 0 6 c 上で偏向され集光される。ここで、図 2 5 (A) に示すように、光ファイバ 2 5 1 4 a ~ 2 5 1 4 c からの光は、コリメータレンズ（固定レンズ） 2 5 1 2 0 a ~ 2 5 1 2 0 c により、可動ミラー 2 5 0 6 a ~ 2 5 0 6 c へ向かう平行光となる。

【 0 3 0 9 】

そして、可動ミラー 2 5 0 6 a ~ 2 5 0 6 c にて固定反射鏡 2 5 0 2 に偏向された後、反射される。ここで、可動ミラー 2 5 0 6 a ~ 2 5 0 6 c による入射角度の調整により、光は特定の光ファイバ 2 5 1 4 a ~ 2 5 1 4 c に入射されるように偏向される。すなわち、可動ミラー 2 5 0 6 a ~ 2 5 0 6 c を出た光は、固定反射鏡 2 5 0 2 により反射され、所望の入出力ポート 2 5 0 4 0 a ~ 2 5 0 4 0 c に対応した可動ミラー 2 5 0 6 a ~ 2 5 0 6 c へ向かう。その後、可動ミラー 2 5 0 6 a ~ 2 5 0 6 c で所望の光ファイバ 2 5 1 4 a ~ 2 5 1 4 c 方向に光は偏向される。続いて可動ミラー 2 5 0 6 a ~ 2 5 0 6 c からの光は、コリメータレンズ（固定レンズ） 2 5 1 2 0 a ~ 2 5 1 2 0 c により光ファイバ 2 5 1 4 a ~ 2 5 1 4 c の端面に集光される。

【 0 3 1 0 】

複数の光ファイバ 2 5 1 4 a ~ 2 5 1 4 c の端面から出射された光は、コリメータレンズ（固定レンズ） 2 5 1 2 0 a ~ 2 5 1 2 0 c を通って、平行光とされ、可動ミラー 2 5 0 6 a ~ 2 5 0 6 c 上に向かう。このとき各コリメータレンズ（固定レンズ） 2 5 1 2 0 a ~ 2 5 1 2 0 c を通過した光束の中心軸は、他の光束の中心軸に対して、互いに平行となる。

【 0 3 1 1 】

基板 2 5 0 8 の光学部品等の取り付け面は平坦面であり、この基板 2 5 0 8 上に取り付けられた可動ミラー 2 5 0 6 a ~ 2 5 0 6 c のミラー面は、無制御状態で基板 2 5 0 8 の表面と平行で且つ互いに同一平面内にある。この状態における可動ミラー 2 5 0 6 a ~ 2 5 0 6 c により反射された各光線束の中心光路は、やはり互いに平行である。

【0312】

固定反射鏡 2 5 0 2 が、平面鏡（ミラー）であれば、反射された各光の光線束の中心光路も、他の光線束の中心光路に対して互いに平行となる。可動ミラー 2 5 0 6 a ～ 2 5 0 6 c が、前述したように無制御状態であるとき、固定反射鏡 2 5 0 2 で反射された各々の光は、固定反射鏡 2 5 0 2 に入射されるまでと同じ光路を辿って、再び光ファイバ 2 5 1 4 a ～ 2 5 1 4 c に入射される。

【0313】

このとき、基板 2 5 0 8 の周縁側にある光偏向素子である可動ミラー 2 5 0 6 a に対応する入出力ポート 2 5 0 4 0 a に注目する。可動ミラー 2 5 0 6 a が無制御状態にあるときは、可動ミラーからの反射光束は固定反射鏡 2 5 0 2 に垂直入射する。

【0314】

一方、光ファイバ 2 5 1 4 a から出射した光を、可動ミラー 2 5 0 6 a における入射角の調整によって、光ファイバ 2 5 1 4 b、2 5 1 4 c に入射させる場合を考える。このとき、可動ミラー 2 5 0 6 a の入射角を調整することにより固定反射鏡 2 5 0 2 に向かって偏向させた光線束の中心光路を、2 5 1 4 a の光ファイバから出射した光の戻り光の光線束の中心光路に対して、片側に、すなわち光ファイバ 2 5 1 4 b、2 5 1 4 c 側に寄せる必要がある。

【0315】

また、基板 2 5 0 8 の中央側にある光入出力ポート 2 5 0 4 0 b について同様に考える。この場合も、可動ミラー 2 5 0 6 b は無制御状態にあるとする。

【0316】

このとき、光ファイバ 2 5 1 4 b から出射した光を、光ファイバ 2 5 1 4 a、または 2 5 1 4 c に、可動ミラー 2 5 0 6 b を調整することによって入射させるためには、2 5 1 4 b の光ファイバから出射した光線束の中心光路に対して、可動ミラー 2 5 0 6 b において反射した光線束の中心光路を、いずれかの両側へ振る必要がある。すなわち、この光スイッチ 2 5 0 1 0 は、同一の出力ポートに出力する際に、偏向素子が基板のどの位置にあるかによって、偏向角が異なるため、駆動が面倒であるという問題点を有している。

【0317】

第8の実施の形態は、第6及び第7の実施の形態と同様の目的を有しているが、更に、上述した従来例の問題点を鑑み、光スイッチの駆動を容易とすることを目的として成されたものである。

【0318】

〔第8の実施の形態〕

第8の実施の形態の光スイッチは、マトリックス配列された複数の入力ポートを有する入力側スイッチ要素と、マトリックス配列された複数の出力ポートを有する出力側スイッチ要素とを備えている。そして、さらに入力ポートの各々は、これら入力ポートのそれぞれに対応付けられた入力側レンズ系を有し、出力ポートの各々は、これら出力ポートのそれぞれに対応付けられた出力側レンズ系を有している。この光スイッチは、入力ポート側から出力ポート側に光信号を出力させる。

【0319】

さらに、この第8の実施の形態には、入力側スイッチ要素と出力側スイッチ要素との間に光学素子が配設されている。ここでは、光学素子として固定反射鏡を用いた構成例について説明する。

【0320】

図25（B）にこの光スイッチ2501の構成を示す。この光スイッチ2501は、第8の実施の形態の従来例で説明した図25（A）に示した光スイッチ25010と構成はほぼ同一である。よって、ここでは同一の構成についての重複する説明は省略する。

【0321】

この図25（B）において、各部をつなぐ点線は、図25（A）に示した従来の光スイッチ25010について、各部における光線束の中心光路に対応する光路を概略的に示したものである。これと同様に、各部をつなぐ直線は、第8の実施の形態におけるこの光スイッチの動作を示すための、光線束の中心光路を概略的に示したものである。

【0322】

尚、図 2 5 (B) には図示はしていないが、この第 8 の実施の形態の光スイッチ 2 5 0 1 における各入出力ポート及び入出力側スイッチ要素は、図 2 5 (A) における各入出力ポート 2 5 0 4 0 a ~ 2 5 0 4 0 c、及び入出力側スイッチ要素 2 5 0 0 0 と同様の構成を示すものである。

【0 3 2 3】

この光スイッチ 2 5 0 1 は、固定レンズ 2 5 1 2 a ~ 2 5 1 2 c に固定角度の偏向作用を持たせている。例えば、端側の固定レンズ 2 5 1 2 a の中心に対して、入出力ポートからの光軸延長線（光ファイバの中心軸の延長線）がポートごとに異なる構成とする。すなわち、入力光線束それぞれの中心軸が固定レンズの中心からずれている構成とする。

【0 3 2 4】

ここで、図 2 5 (B) に示したように、この固定レンズ 2 5 1 2 a の中心と、光ファイバ 2 5 1 4 a からの光線束の中心光路との間の距離 g に対して、固定レンズ 2 5 1 2 a の焦点距離を f_{25} とすると、固定レンズ 2 5 1 2 a によって角度 g / f_{25} だけ光は偏向される。

【0 3 2 5】

そして、可動ミラー 2 5 0 6 a ~ 2 5 0 6 c は無制御状態であるとする。この光スイッチ 2 5 0 1 において可動ミラー 2 5 0 6 a ~ 2 5 0 6 c は基板 2 5 0 8 にマトリックス状に配置されている。可動ミラー 2 5 0 6 a ~ 2 5 0 6 c が無制御状態のとき、可動ミラー 2 5 0 6 a ~ 2 5 0 6 c の反射面は、基板 2 5 0 8 の平坦な表面（可動ミラーの固着面）に対して平行になっている。

【0 3 2 6】

光ファイバ 2 5 1 4 a ~ 2 5 1 4 c からの光は、固定レンズ 2 5 1 2 a ~ 2 5 1 2 c にて偏向され、無制御状態の可動ミラー 2 5 0 6 a ~ 2 5 0 6 c で反射され、固定反射鏡 2 5 0 2 により反射され、再び可動ミラー 2 5 0 6 a ~ 2 5 0 6 c へ向かう。このとき、固定反射鏡 2 5 0 2 において反射され可動ミラー 2 5 0 6 a ~ 2 5 0 6 c へ向う光束が、基板 2 5 0 8 のミラーアレイの中心側に位置する可動ミラー 2 5 0 6 b へ向かうように、各固定レンズ 2 5 1 2 a ~ 2 5 1 2 c における偏向角を調整する。

【0327】

一方、中央のポートに設けられた光ファイバ2514bより出射した光は、中央の固定レンズ2512bの中心を通り、中央のミラー2506bへ向けているとする。この場合には、固定レンズ2512bにおいて光を偏向させる必要はなく、固定反射鏡2502からの反射光が中央のミラー2506bに戻る。

【0328】

以上のような構成の光スイッチ2501において、可動ミラーを一辺に $N^{1/2}$ だけ並べ、基板2508に平面内でN個マトリックス配列したとする。そして、図1もしくは図26に示したような光スイッチの配置を参考にし、これにあてはめて考えると、中央からi番目のレンズ2512に必要な偏向角度は、

$$(2i/N^{1/2}) L_s / (2L) = iA\phi / L \cdots (40)$$

である。ここでは、 ϕ は可動ミラー2506の直径、Aは定数である。

【0329】

尚、この光スイッチ2501の構成は図25(B)に示したように、入力側スイッチ要素と出力側スイッチ要素を共用した構成となっている。よって距離Lは、入出力側スイッチ要素2500と、固定反射鏡2502間の距離となる。

【0330】

したがって、光束に対するレンズ位置のずれ量は $g = iA\phi f_{25} / L$ となり、最大ずれ量は、 $N^{1/2}A\phi f_{25} / (2L)$ である。最大偏向角を θ_m とすると、これは $N^{1/2}A\phi / (2L)$ と表されるので、最大ずれ量は、 $g = f_{25}\theta_m$ である。

【0331】

通常、光スイッチにおいて使用されているレンズは、 $\theta_m = 6$ 度程度、 $f_{25} = 1\text{mm}$ であるので、 $g = 100\mu\text{m}$ を得る。これは一般的に用いられている値、 $\phi = 300\mu\text{m}$ より小さく現実的な値といえる。

【0332】

このような構成の光スイッチ2501においては、入出力ポートからの光は、すべて基板2508上にマトリックス配列された可動ミラー2506a～2506cの、マトリックスの中心側の可動ミラー2506bに向かっている。よって、マトリックス状に配列された複数の入出力ポートのうち、マトリックスの周縁

側のポートに対応した可動ミラー 2 5 0 6 a もしくは 2 5 0 6 c へ偏向する場合
には、無制御状態から左右に可動ミラー 2 5 0 6 a もしくは 2 5 0 6 c の偏向角
を振ることで行うことができるようになる。

【 0 3 3 3 】

ここで図 3 6 (B) には、この第 8 の実施の形態における別の実施例を、図 3
6 (A) には、第 8 の実施の形態における改良を加える前の構成をもつ光スイッ
チを示している。

【 0 3 3 4 】

これら光スイッチの基本的な構成は図 2 5 (B) に示したものと同様である。
よって、同じ構成についての重複する説明は省略する。

【 0 3 3 5 】

また、第 8 の実施の形態における改良を行う前の光スイッチ 3 6 0 0 a につい
て、図 3 6 (A) において示した各部をつなぐ点線は、その各部の動作を説明す
るための、光線束の形状を概略的に示したものである。

【 0 3 3 6 】

また、同様に、図 3 6 (B) に示した各部をつなぐ直線 3 6 1 4 a ~ 3 6 1 4
c 及び 3 6 1 6 a、3 6 1 6 b、点線 3 6 1 8 a、3 6 1 8 b は、第 8 の実施の
形態におけるこの光スイッチ 3 6 0 0 b の各部の動作を説明するための、光線束
の中心光路を概略的に示したものである。

【 0 3 3 7 】

この光スイッチ 3 6 0 0 a、3 6 0 0 b において、入力側レンズ系及び出力側
レンズ系は、焦点距離の異なる少なくとも 2 枚の可動レンズ 3 6 0 6 a ~ 3 6 0
6 c 及び 3 6 0 8 a ~ 3 6 0 8 c より構成される。

【 0 3 3 8 】

入力側可動レンズ 3 6 0 6 a ~ 3 6 0 6 c は、光信号の入力方向に垂直な面内
で移動可能であり、また出力側可動レンズ 3 6 0 8 a ~ 3 6 0 8 c は、光信号の
出力方向に垂直な面内で移動可能である。

【 0 3 3 9 】

そして、この光スイッチ 3 6 0 0 a、3 6 0 0 b において、入力側スイッチ要

素 3 6 0 2 と、出力側スイッチ要素 3 6 0 4 とを同じ構成とする。

【0 3 4 0】

ところで、図 3 6 (A) に示した光スイッチ 3 6 0 0 a において、無制御状態の可動レンズ 3 6 0 6 a 及び 3 6 0 8 b の中心軸は、それと対応して設けられている光ファイバの延長線上にあった。

【0 3 4 1】

ここで、図 3 6 (A) において、可動レンズ 3 6 0 6 a 及び 3 6 0 8 c は、実線で示したものが無制御状態の可動レンズであることを示す。また、可動レンズ 3 6 0 6 a 及び 3 6 0 8 c は、図 1 で示したようなこの発明の光スイッチにおいて、基板上にマトリックス状に設けられた入力ポートもしくは出力ポートのうち、基板の周縁側に配置されたポート内に位置している。これは、図 3 6 (B) においても同様である。

【0 3 4 2】

一方、図 3 6 (B) に示した光スイッチ 3 6 0 0 b においては、入力もしくは出力ポートの位置により、無制御状態での可動レンズ 3 6 0 6 a 及び 3 6 0 8 c の中心軸を光ファイバ 3 6 1 0 a 及び 3 6 1 2 c の延長線上から g だけずらして設置する、という改良を行っている。

【0 3 4 3】

ずらす量は、図 2 5 (B) の光スイッチにおいて既に説明したずれ量と同様である。これによって、入力ポートに接続された入力側光ファイバ 3 6 1 0 a の端面から出た光の光束は、各可動レンズ 3 6 0 6 a ~ 3 6 0 6 c 及び 3 6 0 8 a ~ 3 6 0 8 c が無制御状態である場合には、中央側の出力ポートに設置された光ファイバ 3 6 1 2 b へ向かっている。

【0 3 4 4】

一方、このような動作は、出力ポートに接続された出力側光ファイバ 3 6 1 2 c より出射し、この光ファイバ 3 6 1 2 c に対応して設けられた可動レンズ 3 6 0 8 c を通過した光束においても同様である。

【0 3 4 5】

いま、図 3 6 (B) において、マトリックス配列された入力ポートの周縁側の

ポートに設けられている、可動レンズ 3 6 0 6 a に注目すると、このレンズ 3 6 0 6 a は点線で示したレンズのように、図中矢印 k 方向に、この場合には、図の上下方向にずらすことができる。よって、この可動レンズ 3 6 0 6 a の移動により、光線束 3 6 1 8 a、3 6 1 8 b の中心光路を、所望の可動レンズ 3 6 0 8 a または 3 6 0 8 c へと向けることが可能となる。このように、入力側光ファイバ 3 6 1 0 a からの光を、可動レンズ 3 6 0 6 a を無制御状態の位置から、上下方向にずらすことによって、可動レンズ 3 6 0 6 a を通過した光を上下方向に振ることが可能となる。

【 0 3 4 6 】

つぎに図 3 7 は、この第 8 の実施の形態の、別の構成例を示す図である。この光スイッチ 3 7 0 0 の基本的な構成は、第 5 の実施の形態において説明した構成とほぼ同様である。よって、同じ構成についての重複する説明は省略する。

【 0 3 4 7 】

また、各部をつなぐ直線 3 7 1 0 a ~ 3 7 1 0 c、3 7 1 8 a ~ 3 7 1 8 c、3 7 1 2 b、また、一点鎖線 3 7 2 4 a、3 7 2 4 b、3 7 1 2 a、3 7 1 2 c は、この光スイッチ 3 7 0 0 の動作を説明するために、各部における光線束の中央光路を概略的に示したものである。

【 0 3 4 8 】

ここでは、入力及び出力ポート 3 7 0 2 a ~ 3 7 0 2 c 及び 3 7 0 4 a ~ 3 7 0 4 c を、それぞれのポート間を通常よりも離間配置させ、しかもポート毎に、入力側及び出力側レンズ系における固定レンズ 3 7 0 6 a ~ 3 7 0 6 c 及び 3 7 0 8 a ~ 3 7 0 8 c で偏向角が異なるように、配置してある。ここで、レンズ 3 7 0 6 a ~ 3 7 0 6 c 及び 3 7 0 8 a ~ 3 7 0 8 c は、それぞれ可動レンズで構成される場合があってもよい。

【 0 3 4 9 】

このような構成において、光ファイバ 3 7 0 2 a ~ 3 7 0 2 c からそれぞれ出射し、入力側固定レンズ 3 7 0 6 a ~ 3 7 0 6 c をそれぞれ通過した光 3 7 1 0 a ~ 3 7 1 0 c を、可動ミラー 3 7 1 4 a ~ 3 7 1 4 c によって、光 3 7 1 8 a ~ 3 7 1 8 c で示すように偏向させる。この場合、この偏向光 3 7 1 8 a ~ 3 7

1 8 c を、基板 3 7 2 2 の中央側に位置する可動ミラー 3 7 1 6 b に向かうように、それぞれの可動ミラー 3 7 1 4 a ~ 3 7 1 4 c を制御する。

【 0 3 5 0 】

また、各入力側レンズ系に設けられた可動ミラー 3 7 1 4 a ~ 3 7 1 4 c のうち、基板 3 7 2 0 の中心側に位置する可動ミラー 3 7 1 4 b によって反射された光は、基板 3 7 2 2 上に配置された可動ミラー 3 7 1 6 a ~ 3 7 1 6 c のうちのいずれかの可動ミラーに向かう。そして、これらの可動ミラー 3 7 1 6 a ~ 3 7 1 6 c によって偏向制御され、光 3 7 1 2 a ~ 3 7 1 2 c で示すように、出力ポート 3 7 0 4 a ~ 3 7 0 4 c のうちのいずれかのポートへ向かう。

【 0 3 5 1 】

これにより、この光スイッチ 3 7 0 0 においては、どの入力ポート 3 7 0 2 a ~ 3 7 0 2 c においても、光を出射させるときとりうる偏向角の値の範囲が同じとなる。

【 0 3 5 2 】

また、固定レンズ 3 7 0 6 a ~ 3 7 0 6 c、3 7 0 8 a ~ 3 7 0 8 c は、偏向作用を有したホログラムで代替してもよい。

【 0 3 5 3 】

ここで、これら第 8 の実施の形態におけるレンズ系の変形例を紹介する。この変形例の構成は、入力側及び出力側レンズ系に一枚の凸レンズを導入したものである。

【 0 3 5 4 】

第 8 の実施の形態においては、入力側および出力側スイッチ要素に設けられた固定レンズ（或いは可動レンズ）の中心位置を、光束に対してずらすことで固定偏向作用を実現していた。しかし、この変形例は、凸レンズを用いることで、この作用を実現することができる。

【 0 3 5 5 】

この凸レンズの設置の様子を、図 3 8 に示す。この図において 3 8 0 4 a ~ 3 8 0 4 c は各ポートに設けられた光ファイバを示している。そして、これらの各々のポートに可動レンズ 3 8 0 0 a ~ 3 8 0 0 c が、それぞれ対応づけて設置さ

れている。尚、これらレンズ 3 8 0 0 a ~ 3 8 0 0 c には、固定レンズを用いる場合があってもよい。

【 0 3 5 6 】

凸レンズ 3 8 0 2 は、これらの可動レンズより出射した光束を通過させることができるように、可動レンズ 3 8 0 0 a ~ 3 8 0 0 c の後に設置されている。

【 0 3 5 7 】

ここで、各部をつなぐ直線、及び点線は、各部の動作を説明するために、光束の形状を概略的に示したものである。光線束の中心光路 3 8 0 6 は、凸レンズ 3 8 0 2 の集光作用によってある中心へと向かう線群となる。その角度は、凸レンズ 3 8 0 2 の中心点 O を通る一点鎖線を基準にした各光ファイバの位置を G として、凸レンズ 3 8 0 2 の焦点距離を F_{38} とすれば、 G / F_{38} で表される。

【 0 3 5 8 】

具体的に、凸レンズ 3 8 0 2 はつぎのように設置される。例えば図 3 7 における入力側スイッチ要素を参照すれば、この凸レンズ 3 8 0 2 は、可動レンズ 3 7 0 6 a ~ 3 7 0 6 c と、可動ミラー 3 7 1 4 a ~ 3 7 1 4 c との間に設けられる。この変形例の構成において、可動ミラー 3 7 1 4 a ~ 3 7 1 4 c は、凸レンズ 3 8 0 2 からの距離が、凸レンズ 3 8 0 2 の焦点距離 F_{38} と等しくなるように設置されている。

【 0 3 5 9 】

図 3 8 において、光ファイバ 3 8 0 4 a から出た光 3 8 0 8 a、3 8 0 8 b は、可動レンズ 3 8 0 0 a と凸レンズ 3 8 0 2 の両方によって、集光される。ここで、可動レンズ 3 8 0 0 a ~ 3 8 0 0 c はすべて物性が等しいものを使用する。よって、これらの可動レンズ 3 8 0 0 a ~ 3 8 0 0 c の焦点距離は同一である。この焦点距離を f_{38} とすると、可動レンズ 3 8 0 0 a ~ 3 8 0 0 c と凸レンズ 3 8 0 2 との合成焦点距離は、 $f_{38} F_{38} / (f_{38} + F_{38})$ である。

【 0 3 6 0 】

可動レンズ 3 8 0 0 a ~ 3 8 0 0 c を通過して、その後、さらに凸レンズ 3 8 0 2 を通過した光束が、平行光となるためには、可動レンズ 3 8 0 0 a ~ 3 8 0 0 c と凸レンズ 3 8 0 2 の複合レンズ中心と光ファイバ 3 8 0 4 a ~ 3 8 0 4 c

の距離をこの合成焦点距離と等しくする。 $F_{38} \gg f_{38}$ であれば、合成焦点距離は、ほぼ f_{38} に等しくなる。

【 0 3 6 1 】

〔第 9 の実施の形態〕

この発明の第 9 の実施の形態の構成を図 3 9 に示す。この光スイッチ 3 9 0 0 は、複数個の光入力ポートを有する入力側スイッチ要素と、複数個の光出力ポートを有する出力側スイッチ要素とを備え、光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、光出力ポートのいずれかから出力させる。

【 0 3 6 2 】

入力側スイッチ要素は、第 1 及び第 2 光ユニット 3 9 0 2、3 9 0 4 を備え、出力側スイッチ要素は、第 3 及び第 4 光ユニット 3 9 0 6、3 9 0 8 を備えている。

【 0 3 6 3 】

第 1 光ユニット 3 9 0 2 は、入力側導光路 3 9 1 8 と、入力側導光路 3 9 1 8 からの光信号を集光する入射側レンズ系 3 9 2 0 との組合せを、光入力ポートの各々に対応付けて複数対備えている。

【 0 3 6 4 】

また、第 2 光ユニット 3 9 0 4 は、これらレンズ系と対応付けて設けられている。そして、これらレンズ系からの光信号を反射させる複数の第 1 可動ミラー 3 9 2 2 を備えている。

【 0 3 6 5 】

また、第 3 光ユニット 3 9 0 6 は、第 2 光ユニット 3 9 0 4 の第 1 可動ミラー 3 9 2 2 からの光信号を個別に反射させる複数の第 2 可動ミラー 3 9 2 6 を備えている。

【 0 3 6 6 】

第 4 光ユニット 3 9 0 8 は、第 2 可動ミラー 3 9 2 6 からの光信号を集光する出射側レンズ系 3 9 2 8 と、このレンズ系から光信号が入射する出力側導光路 3 9 3 0 との組合せを、光出力ポートの各々に対応付けて複数対備えている。

【 0 3 6 7 】

これら、第 1、第 2、第 3、第 4 光ユニット 3 9 0 2 ~ 3 9 0 8 は、共通の基板 3 9 3 2 上に設けられているのが好ましい。

【0 3 6 8】

また、この実施の形態の光スイッチ 3 9 0 0 において、第 1 光ユニット 3 9 0 2 内は、入力側導光路 3 9 1 8 が第 1 基板 3 9 1 0 に固定されており、同様に入射側レンズ系 3 9 2 0 も第 2 基板 3 9 1 2 に固定されており、第 4 光ユニット 3 9 0 8 内は、出射側レンズ系 3 9 2 8 が第 3 基板 3 9 1 4 に固定されており、同様にして出力側導光路 3 9 3 0 も第 4 基板 3 9 1 6 に固定されている。

【0 3 6 9】

この光スイッチにおいて、第 1 基板から第 4 基板 3 9 1 0 ~ 3 9 1 6 は、熱膨張係数が小さいか、同一の基板であることが好ましい。

【0 3 7 0】

また、他の好適な例として、第 1 基板から第 4 基板 3 9 1 0 ~ 3 9 1 6 は、共通基板 3 9 3 2 より熱膨張係数が小さいか、或いは同一である。

【0 3 7 1】

この第 9 の実施の形態における熱膨張係数の具体的な値は、 10^{-7} 以下のオーダーであることが望ましい。

【0 3 7 2】

この光スイッチ 3 9 0 0 における各部の動作を説明する。ここで、この光スイッチ 3 9 0 0 の動作を説明するために、図 3 9 に各部をつなぐ直線及び矢印 3 9 3 4 ~ 3 9 3 8 として、光束の形状を概略的に示す。また、図 3 9 に示すように、共通基板 3 9 3 2 の横方向を X_1 、長さ方向を Y_1 とする。

【0 3 7 3】

この光スイッチ 3 9 0 0 において、入力ポートに設けられた入力側導光路 3 9 1 8 である光ファイバの端面より、光信号が出力される。この光信号は、図 3 9 中に示した矢印 3 9 3 4 のように、第 2 基板 3 9 1 2 に設けられた可動レンズ 3 9 2 0 へ光として入射し、コリメートされ、基板 3 9 2 4 a に設けられた第 1 可動ミラー 3 9 2 2 方向に向かう。

【0 3 7 4】

そして、この第1可動ミラー3922での光の入射角及び反射角、すなわちミラー面の基板3924aの表面に対する傾きを制御して、基板3924bに設置された所望の第2可動ミラー3926に、矢印3936で示したように、光ビームを向ける。

【0375】

第2可動ミラー3926でも、これと同様の動作が行われる。すなわち、この第2可動ミラー3926での光の入射角及び反射角、すなわちミラー面の基板3924bの表面に対する傾きを制御して、それと対応した所望の出力ポートの方向に、矢印3938で示したように光ビームを向ける。

【0376】

いま、温度変動により共通基板3932が膨張したとし、その場合の動作につき、図40を参照して説明する。図40は、第9の実施の形態における光スイッチの動作例を示した図で、この光スイッチは図39で説明した構成と同じであるので、同一の構成についての重複する説明は省略する。

【0377】

このとき、膨張した共通基板を図中点線枠4032で示す。膨張する前の入力側スイッチ要素における各第1及び第2光ユニット3902、3904を基準として、第3光ユニット及び、第4光ユニットはそれぞれ4006、4008のように、その位置がずれる。

【0378】

ここで、図39に示す構成において、第1光ユニット3902、及び第3光ユニット3906は、共通基板3932と同様に膨張する。しかし、第1基板3910と第2基板3912の熱膨張係数が同一であり、及び第3基板3914と第4基板3916の熱膨張係数が同一であれば、第2光ユニット3904に設けられた第1可動ミラー3922への光の入射位置ずれは生じるが、入射角は変動しない。この第1可動ミラー3922は、そのミラー面の基板3924aの表面に対する傾き角度における温度変動は小さいので、光ビームの伝搬角度にも変化はない。このとき第3光ユニット3906に設けられた第2可動ミラー3926においても、光は入射位置が変動するだけであって、入射角の変動は無い。この第

2可動ミラー3926は、そのミラー面の基板3924bに対する傾き角度の温度による角度変化は小さいため、第2可動ミラー3926への入射位置は変動するものの、入射角度の変動は無い。

【0379】

つぎに図41(A)を用いて、図39に示したこの光スイッチ3900における、出射側レンズ系として出力側スイッチ要素に設けられた可動レンズ3928への入射位置の変動効果を示す。

【0380】

図41(A)における実線4104、4106、及び点線4108、4110は、光束の形状を概略的に示したものである。

【0381】

実線で示した平行光ビーム4106は、出力側導光路3930として第4の基板3916に設けられた光ファイバの端面に、可動レンズ3928によって、集光される。

【0382】

ここで図40を用いて説明した共通基板3932の熱膨張により、可動レンズ3928への光ビーム4106が、光ビーム4110のようにシフトして、出力側導光路3930である光ファイバへ入射するとする。

【0383】

可動レンズ3928の性質から、この状態では点線で示した光ビーム4108のように、光ファイバ3930への光の入射角は、実線で示す光ビーム4104の光の入射角度から変動を生じる。

【0384】

一般に、シングルモード光ファイバで0.5dB以下の光パワー変動には、入射角の変動は1.5度まで許容される。

【0385】

ビーム位置ずれ量は、使用条件から要求される100℃の温度変化範囲で、数十ミクロン程度であるので、可動レンズ3928の焦点距離が1～2mmのものをを用いれば、損失変動を許容範囲内で抑えることが可能となる。この焦点距離は

、通常良く使われるレンズ焦点距離に相当する。

【0386】

温度変化による入力角の変化を小さくするためには、焦点距離の長いレンズが望ましいが、可動ミラーの角度誤差による焦点位置ずれを小さく抑えるには、焦点距離が短いレンズがよい。したがって、レンズの焦点距離の最適長がありうる。すべての構造物が同一の膨張係数を有しているときには、温度変化による、入射角変動は生じない。このときは焦点距離は短いほど良い。

【0387】

図41(B)を参照しながら、図39に示したような構成の第9の実施の形態の光スイッチ3900において、基板3924aに設けられた第1可動ミラー3922と、基板3924bに設けられた第2可動ミラー3926を含む部分に注目し、ここでの動作を説明する。

【0388】

ただし、図41(B)はより詳細にこの説明を行うために、次のような構成とした。すなわち、図39に示した光スイッチにおいて、第2光ユニット3904に設置された基板4112上に第1可動ミラー4116a～4116dが設けられ、第3光ユニット3906に設置された基板4114上に第2可動ミラー4118a～4118dが設けられている。そして、基板4112の垂直方向に距離 L_{41} だけ離れた位置に、基板4114は配置されている。

【0389】

第2光ユニットにおける可動ミラー4116a～4116dのうちのひとつ、すなわち、ここでは可動ミラー4116aに更に注目する。可動ミラー4116aと4118dをつなぐ矢印4120は、可動ミラー4116aに入射して反射した光線束の中心光路を示すものであり、出力側可動ミラー4118dへ入射するようすを表している。

【0390】

これより、図40において説明したような共通基板3932の熱膨張に伴う光線束の中心光路4120について、可動ミラー4118d上における位置ずれを計算する。ここでは、この光線束4120の可動ミラー4118dへの入射角 θ

41 を一定とし、またこれは微少量であると仮定する。さらに、共通基板 3 9 3 2 の X_1 方向の熱膨張率を α_1 、 Y_1 方向の熱膨張率を α_1' 、基板 4 1 1 2、4 1 1 4 の熱膨張率を β とする。

【0 3 9 1】

ここで、基板 4 1 1 4 と基板 4 1 1 2 における可動ミラー 4 1 1 6 a の位置を考える。この位置は、次のような 2 種類の相対位置の合計値として表される。

【0 3 9 2】

すなわち、基板 4 1 1 4 上における可動ミラー 4 1 1 8 d の位置と、基板 4 1 1 2 の基板 4 1 1 4 に対する相対位置を考える。

【0 3 9 3】

基板 4 1 1 4 上における、可動ミラー 4 1 1 6 d の可動ミラー 4 1 1 8 a に対する相対位置は、図 4 1 (B) に示すように、基板 4 1 1 4 上において可動ミラー 4 1 1 8 a と可動ミラー 4 1 1 8 d との距離 S とすることができる。

【0 3 9 4】

また、基板 4 1 1 2 上における可動ミラー 4 1 1 6 a の基板 4 1 1 4 に対する相対位置は、図 4 1 (B) に示すように、基板 4 1 1 4 上において可動ミラー 4 1 1 6 a と対称の位置に存在する可動ミラー 4 1 1 8 a と可動ミラー 4 1 1 6 a との X_1 方向の水平距離 r とすることができる。

【0 3 9 5】

よって、これらの数値を用いて、基板 4 1 1 2 と基板 4 1 1 4 における可動ミラー 4 1 1 6 a に対する可動ミラー 4 1 1 8 d の位置は $r + S$ となる。そして、この値を利用すれば入射角 $\theta = (r + S) / L_{41}$ と表される。この結果、図 4 0 で説明したような熱膨張が起こる前の状態では、光線束の中心光路 4 1 2 0 の可動ミラー 4 1 1 8 d における入射位置はもともと θL_{41} となる。

【0 3 9 6】

さらに、ここで図 3 9 の光スイッチ 3 9 0 0 の内部、すなわち図 4 1 (B) において、熱膨張が生じたとする。

【0 3 9 7】

この場合、図 4 1 (B) における光線束の中心光路 4 1 2 0 の可動ミラー 4 1

1 8 d 上への入射位置は、 $\theta_{41} \alpha_1' L$ となる。すなわち、光線束の中心光路 4 1 2 0 の出力側可動ミラー 4 1 1 8 d 上における理論的な入射位置は、 $\alpha_1' (r + S)$ である。

【0 3 9 8】

しかし、実際は、図 3 9 において共通基板 3 9 3 2 の X_1 方向、 Y_1 方向、及び基板 3 9 2 4 a (すなわち図 4 1 (B) においては基板 4 1 1 2) と基板 3 9 2 4 b (すなわち図 4 1 (B) においては基板 4 1 1 4) の熱膨張率はそれぞれ異なる値である。すなわち、光線束の中心光路 4 1 2 0 の可動ミラー 4 1 1 8 d 上における入射位置は、 $\alpha_1 r + \beta S$ になっている。

【0 3 9 9】

これらの差を求めると、 $\{(\alpha_1 - \alpha_1') r + (\beta - \alpha_1') S\}$ となる。これを相対的ビームシフトという。

【0 4 0 0】

ところで、図 3 9 に示したような構成の光スイッチ 3 9 0 0 において、 r 、そして S の最大値はともに数 cm の大きさに設定する。

【0 4 0 1】

そして、図 3 9 において基板 3 9 2 4 a、3 9 2 4 b をシリコン (Si) ($\beta - 1 = 3 \times 10^{-6}/^{\circ}C$)、共通基板 3 9 3 2 を鉄 (Fe) ($\alpha' - 1 = 11 \times 10^{-6}/^{\circ}C$) とすると、100 度の温度変化で、相対的ビームシフトを求めると、数 $10 \mu m$ 程度となる。

【0 4 0 2】

さらに共通基板 3 9 3 2 を、ニッケル鋼 (64 Fe 36 Ni) ($\alpha' - 1 = 0.1 \times 10^{-6}/^{\circ}C$) あるいはカーボンのような熱膨張の小さいもの、すなわち ($\alpha' - 1) = 10^{-7}$ 以下のものを用いると、相対的ビームシフトの量を半分以下にすることができる。

【0 4 0 3】

〔第 1 0 の実施の形態〕

次に、この発明の光スイッチの動作を制御するための光スイッチ装置について、図 4 3 を用いて説明する。

【0404】

この光スイッチ装置4300は、スイッチング用可動部4302を有する光スイッチ4304と、光スイッチ4304からの出射光をモニタするモニタ部4306と、モニタ部4306からのモニタ信号に応答して、スイッチング用可動部4302を制御することにより、光スイッチ4304のスイッチングの制御状態を調整するための動作制御部4308とを備えている。

【0405】

この光スイッチ装置4300は、第1の光スイッチ4310と第2の光スイッチ4312を有している。スイッチング用可動部4302は、構成が全く同一で、第1及び第2の光スイッチ4310、4312へ光信号を入力するために、互いに同一構成の第1の光信号導入手段4314と第2の光信号導入手段4316を有し、モニタ部4306は、互いに同一構成の第1の光信号出力手段4318と第2の光信号出力手段4320を有している。

【0406】

第1及び第2の光信号導入手段4314、4316は、監視用信号出力源4322と、信号合成部4324とを有している。そして、信号合成部4324は、監視用信号出力源4322から出力された監視用信号と、外部よりこの光スイッチ装置4300に入力された光信号とをひとつの合成信号にした後、第1及び第2の光スイッチ4310、4312へ入力させる。ここでは、信号合成部4324としては、入力側カプラを用いている。また、この入力側カプラには複数の入力側導光路4330として複数の光ファイバが接続されている。

【0407】

また、第1、第2の光信号出力手段4318、4320は、光信号分配部4326とモニタ4328とを有していて、光信号分配部4326は、モニタ4328及び光スイッチ装置4300の外部に、光スイッチ4304より出力した光信号を分配して、出力する。ここでは、光信号分配部4326として、出力側カプラを用いる。この出力側カプラには複数の出力側導光路4332として光ファイバが接続されており、この光ファイバより光スイッチ装置4300の外へ光信号が出力される。

【0408】

さらに、この光スイッチ装置4300によれば、第1、第2の光信号出力手段4318、4320にフィルタを設け、光信号分配部4326より出力された合成信号から光信号のみを取りだし、光スイッチ装置4300の外部へ出力する。監視用信号出力源4322の動作は、動作制御部4308にて制御される。

【0409】

第2の光スイッチ4312は予備用に使用されるほか、スイッチング用可動部4302からの光信号を、第1及び第2の光信号出力手段4318、4320へ、放送分配するときにも使用されることが好ましい。

【0410】

次にこの光スイッチ装置4300の動作について説明する。

【0411】

各入力側導光路4330より出力した光信号は、監視用信号出力源4322から出力された監視用信号と、入力側カプラ4324において合成され、合成信号となる。監視用信号は、光スイッチ4304のポート番号に対応するような目印となる信号とする。この監視用信号の符号、周波数、波長を変化させることにより、ポート識別を行うことができる。

【0412】

入力側カプラ4324から出力した合成信号は、第1及び第2の光スイッチ4310、4312へ分配され、入力される。そして、第1及び第2の光スイッチ4310、4312において、回線交換が行われる。第1及び第2の光スイッチ4310、4312より出力したそれぞれの合成信号は、出力側カプラ4326において合流され、出力側導光路4332に導かれる。

【0413】

ここで、出力側カプラ4326は、出力側導光路4332と、モニタ4328へ合成信号を分配する。また、監視用信号が光スイッチ装置4300の外部へ出力されないように、出力側カプラ4326と出力側導光路4332の間にフィルタを設け、光信号のみを分離する構成であることが望ましい。このとき、光信号と監視用信号で異なる波長を用いると分離が容易である。

【0414】

監視用信号は、モニタ4328へ送られる。モニタ4328は、監視用信号より必要な情報を抽出する。

【0415】

ここで、この光スイッチ装置4300において、入力側導光路4330を入力ポート、出力側導光路4332を出力ポートと呼ぶことにする。

【0416】

モニタ4328は、監視用信号中のポート識別信号より、各光信号がどの入力ポート4330から来たかをモニタする。このほか、光スイッチの制御状態、例えば、光パワーのモニタによる光軸位置情報が監視される。

【0417】

監視用信号の情報は、動作制御部4308に設けられた制御回路に送られる。そして、この動作制御部4308によって、光スイッチ4304の状態は最適な状態に保たれる。切換のときに正しいポートに接続されたかを検出するのも、この動作制御部4308に設けられた制御回路の役割となる。

【0418】

なお以上の説明において、監視用信号出力源4322を設置することによって、監視用信号を光信号と合成する例を紹介した。しかし、この光スイッチ装置4300においては、必ずしも監視用信号出力源4322を設置する必要はない。このとき、第1及び第2の光信号導入手段において、監視用信号は出力されず、第1及び第2の光スイッチへは、光信号のみが入力される。そして、モニタ4328によって光信号のみのモニタが行われる。よって、この場合光信号出力手段4318、4320には光信号を分離するためのフィルタを設ける必要はない。

【0419】

また、この光スイッチ装置4300において用いられる第1及び第2の光スイッチ4310、4312は、本発明の光スイッチの構成に限られない。よって、図44に示した従来の光スイッチ4400のようなものについてもこの光スイッチ装置を用いて、動作を制御することは可能である。

【0420】

図 4 4 に示した光スイッチ 4 4 0 0 について、図 4 3 の光スイッチ装置 4 3 0 0 を用いて、この光スイッチ 4 4 0 0 の制御状態を検出するための方法について、図 4 3 及び図 4 2 を参照して、説明する。

【 0 4 2 1 】

図 4 2 は、図 4 4 に示した光スイッチ 4 4 0 0 において、入力側スイッチ要素 4 2 0 0 に設けられた一つの偏向素子 4 4 0 2 b に注目し、これと対応する出力側スイッチ要素 4 2 0 2 に設けられた光偏向素子 4 4 0 2 a との動作について説明するための図である。よって、従来技術において説明した図 4 4 と同様の構成、動作について重複する説明は省略する。

【 0 4 2 2 】

また、図 4 2 において、各部をつなぐ直線は各部における光の形状を概略的に表している。また、図中の可動ミラー 4 4 1 4 a、4 4 1 4 b に記した矢印は、これら可動ミラー 4 4 1 4 a、4 4 1 4 b の動く方向を表す。この可動ミラー 4 4 1 4 a、4 4 1 4 b の駆動は、例えば図 1 2 において説明したものと同様の方法を用いて、駆動電圧を変化させることにより行われる。

【 0 4 2 3 】

先ず、切り替えが終了して、回線が保持されている状態の説明を行う。

【 0 4 2 4 】

このとき図 4 3 の光スイッチ装置 4 3 0 0 に設けられているモニタ 4 3 2 8 において、監視用信号に含まれる識別信号によって、入力ポート番号の情報が抽出される。

【 0 4 2 5 】

図 4 2 において、入力側スイッチ要素 4 2 0 0 に設けられている可動ミラー 4 4 1 4 a の経時変化、例えば駆動電圧の変化、温度変動などによって、ビーム角度はずれてくることがある。このずれに起因して、出力ファイバ 4 4 0 8 b での焦点位置が変動し、信号の光パワーが変動する。

【 0 4 2 6 】

この変動は、図 4 3 の光スイッチ装置 4 3 0 0 に設置されたモニタ 4 3 2 8 によって、検出される。そして、モニタ 4 3 2 8 より送られてきた情報をもとに、

動作制御部 4 3 0 8 は、この変動を検知してビーム角度がずれたと判断する。

【 0 4 2 7 】

このとき、図 4 2 において、可動ミラー 4 4 1 4 a、4 4 1 4 b の角度を適切な角度とするための情報を、再び図 4 3 の光スイッチ装置において、動作制御部 4 3 0 8 より光スイッチ 4 4 0 0 へ、フィードバックする必要がある。この際、動作制御部 4 3 0 8 は、どのミラーをどの方向の角度に回転させるかを判断しなければならない。

【 0 4 2 8 】

そのため、動作制御部 4 3 0 8 は、図 4 2 における可動ミラー 4 4 1 4 a、4 4 1 4 b をデータ信号に影響を与えない範囲で、わずかに回転させるよう、光スイッチ 4 4 0 0 へ情報を送る。この結果、光スイッチ 4 4 0 0 において、可動ミラー 4 4 1 4 a、4 4 1 4 b を動作させる駆動電圧がわずかに変化する。

【 0 4 2 9 】

これに伴う信号の光パワーの変動は、モニタ 4 3 2 8 において検出される。この情報をもとに、動作制御部 4 3 0 8 は、パワーが増大する方向に調整を加える情報を光スイッチ 4 4 0 0 に送る。そして、可動ミラー 4 4 1 4 a、4 4 1 4 b を動作させる駆動電圧が制御されることによって、光スイッチ 4 4 0 0 は最適状態に復帰する。

【 0 4 3 0 】

ここで図 4 2 における可動ミラー 4 4 1 4 a、4 4 1 4 b には、その駆動電圧を変化させることにより、それぞれ常に周期の異なる微弱な回転ぶれを与えておけば、どの程度の電圧をどの方向にかければ、修正が可能かをモニタすることができる。

【 0 4 3 1 】

また、これによって可動ミラーの剛性の変化など、経時変化を検出することが可能である。可動ミラー角度の 0 点移動は、保持している間の、可動ミラー制御電圧の経時変化で検出することができる。これらのミラー制御に関する情報により、必要なときに可動ミラーが動くかどうかの判断も可能となる。これらの制御はすべて動作制御部 4 3 0 8 によって行われる。

【 0 4 3 2 】

【発明の効果】

この発明の第1の光スイッチによれば、光ビームの偏向を行うために複数個の光偏向素子を用いているので、偏向角度の精度が各光偏向素子に振り分けられる。したがって、各光偏向素子の必要精度が緩和される。

【 0 4 3 3 】

また、この発明の第2、第3の光スイッチによれば、光入出力角すなわち光の入射角或いは出射角を拡大するための光学系または光のビーム径を拡大するための光学系を備えることにより、必要な精度を確保しつつもチャンネル数の増大が図れる。

【 0 4 3 4 】

また、この発明のさらに第4の光スイッチによれば、入力側の可動ミラーで反射された光を出力側の可動ミラーに集光するための光学素子を備えることにより、可動ミラーの角度制御精度が緩和され、ミラー角の切り替えを高速で行うことが可能になる。

【 0 4 3 5 】

またこの発明の第5～7の光スイッチによれば、出力ポートへ光を出射させるとき、入力側光スイッチ要素のどの入力ポートにある光偏向素子においても、とりうる偏向角の値の範囲は同じであるため、チャンネル数の増大をはかることができる。

【 0 4 3 6 】

また、第6、7の光スイッチは、入力側集光レンズ系に設けられた可動ミラーの傾き角と出力ポートの関係が一对一に対応できるため、駆動が簡単となる。

【 0 4 3 7 】

また、第8の光スイッチによれば、温度変化があつたとしても焦点位置ずれを最小とし、光ファイバへの入力角度ずれのみを生じさせ、光出力に対する影響がより少ない構造としたため、温度変化による出力パワー変動を抑えることが可能となる。

【 0 4 3 8 】

また、この発明の光スイッチについて、光スイッチ装置を用いることにより、光スイッチの状態監視が可能となり、しかも予備系の配置と2方向への放送分配機能が、少ない部品数で実現される。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

第1の実施の形態の光スイッチの構成を示す図である。

【図 2】

可動レンズの構成例を示す図である。

【図 3】

光スイッチの一部の断面を示す図である。

【図 4】

入力側スイッチ要素の断面を示す図である。

【図 5】

実施の形態の光スイッチの動作原理の説明に供する図である。

【図 6】

実施の形態の光スイッチの動作原理の説明に供する図である。

【図 7】

実施の形態の光スイッチの動作原理の説明に供する図である。

【図 8】

実施の形態の光スイッチの動作原理の説明に供する図である。

【図 9】

実施の形態の光スイッチの動作原理の説明に供する図である。

【図 10】

実施の形態の光スイッチの動作原理の説明に供する図である。

【図 11】

第2の実施の形態の光スイッチの構成を示す図である。

【図 12】

第2の実施の形態の光スイッチの要部構成を示す図である。

【図 13】

典型的な光スイッチの要部構成を示す図である。

【図 1 4】

可動ミラー型光スイッチの要部構成を示す図である。

【図 1 5】

可動レンズ型光スイッチの要部構成を示す図である。

【図 1 6】

可動レンズ型光スイッチの要部構成を示す図である。

【図 1 7】

第 3 の実施の形態の光スイッチの要部構成を示す図である。

【図 1 8】

第 3 の実施の形態の光スイッチの変形例の要部構成を示す図である。

【図 1 9】

第 4 の実施の形態の光スイッチの要部構成を示す図である。

【図 2 0】

第 5 の実施の形態の光スイッチの構成を示す図である。

【図 2 1】

誤差の光線行列による解析の説明に供する図である。

【図 2 2】

誤差の光線行列による解析の説明に供する図である。

【図 2 3】

第 5 の実施の形態の光スイッチの第 1 変形例を示す図である。

【図 2 4】

第 5 の実施の形態の光スイッチの第 2 変形例を示す図である。

【図 2 5】

(A) は第 8 の実施の形態の光スイッチの従来例として、光学素子に、固定反射鏡を用いた光スイッチの例を示す図である。

(B) は第 8 の実施の形態の光スイッチの例について、光学素子として固定反射鏡を用いた例を示す図である。

【図 2 6】

第 1 ～ 第 5 の実施の形態の改良点を説明する図である。

【図 2 7】

第 6 の実施の形態の光スイッチ（光学素子として凸レンズを用いた例）を示す図である。

【図 2 8】

（A）は入力側スイッチ要素の構成（第 1 の形態）を示す図である。

（B）は入力側スイッチ要素の構成（第 2 の形態）を示す図である。

【図 2 9】

第 6 の実施の形態の光スイッチ（光学素子として凹面鏡を用いた例）を示す図である。

【図 3 0】

第 6 の実施の形態の光スイッチ（光学素子としてホログラムを用いた例）を示す図である。

【図 3 1】

（A）は基板上に集積されたレンズ系の例を示す断面図である。

（B）は基板上に集積されたレンズ系の例を示す平面図である。

【図 3 2】

（A）は第 6 の実施の形態において、凹レンズと光学素子間の光束の形状を示す図である。

（B）は第 6 の実施の形態において、可動ミラーから光学素子通過後までの光束の形状を示す図である。

【図 3 3】

第 6 の実施の形態において、入力側スイッチ要素と出力側スイッチ要素間の光束の形状を示す図である。

【図 3 4】

第 7 の実施の形態の光スイッチの例を示す図である。

【図 3 5】

第 7 の実施の形態における光学素子と可動ミラーの配置の例を示す図である。

【図 3 6】

(A) は第 8 の実施の形態による改良を行う前の光スイッチにおける動作を説明する図である。

(B) は光偏向素子として可動レンズを用いた構成の第 8 の実施の形態の動作を説明するための図である。

【図 3 7】

光学素子としてリレーレンズを用いた構成の、第 8 の実施の形態の動作を説明する為の図である。

【図 3 8】

第 8 の実施の形態において、凸レンズを挿入した場合のレンズ系の動作例を示す図である。

【図 3 9】

第 9 の実施の形態の光スイッチの構成例を示す図である。

【図 4 0】

第 9 の実施の形態の光スイッチ動作を示す図である。

【図 4 1】

(A) は第 9 の実施の形態の出力側スイッチ要素の動作例を示す図である。

(B) は第 9 の実施の形態における第 1 可動ミラーと第 2 可動ミラーの動作例を示す図である。

【図 4 2】

第 1 0 の実施の形態の動作例を示す図である。

【図 4 3】

第 1 0 の実施の形態の構成例を示す図である。

【図 4 4】

(A) は従来の光スイッチの構成例を示す図である。

(B) は従来の光スイッチに用いる光偏向素子の構成例を示す図である。

【符号の説明】

- 1 0 : 光入力ポート
- 1 2 : 入力側スイッチ要素
- 1 4 : 光出力ポート

1 6 : 出力側スイッチ要素

1 8 a、1 8 b、2 2 a、2 2 b : 光偏向素子

2 0 : 入力側光偏向素子群

2 4 : 出力側光偏向素子群

2 6 : 光スイッチ

2 8、3 0 : 光ファイバ

3 2、3 6、4 0、4 4 : 基板

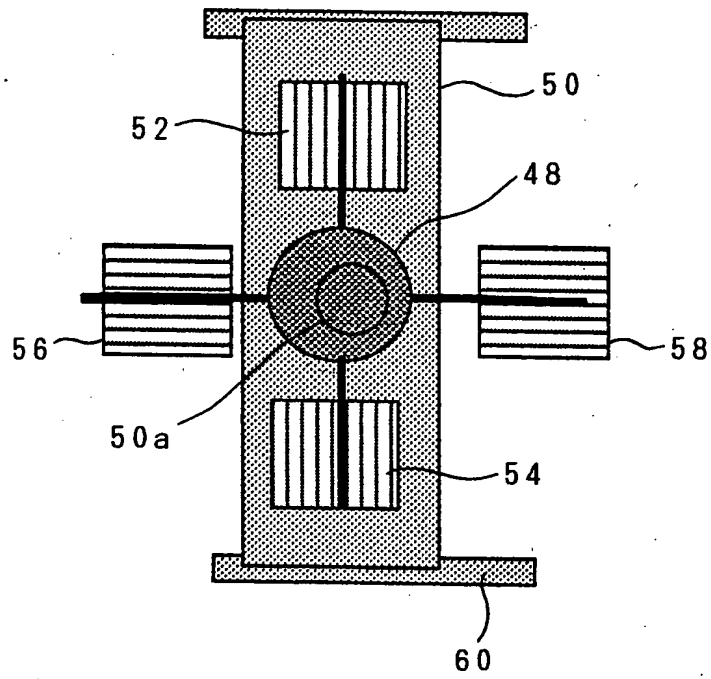
3 4 : 第 1 偏向素子アレイ

3 8 : 第 2 偏向素子アレイ

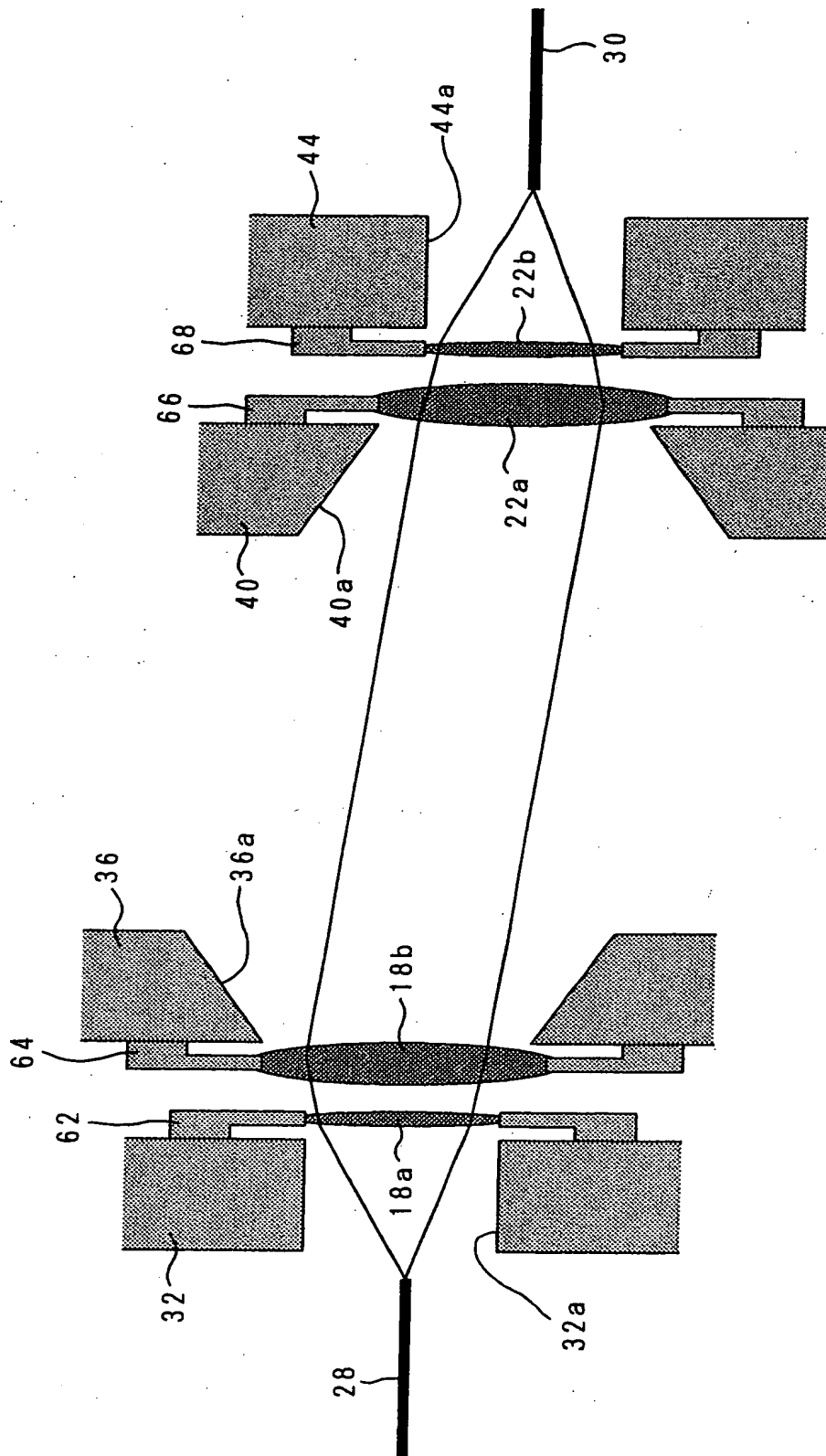
4 2 : 第 3 偏向素子アレイ

4 6 : 第 4 偏向素子アレイ

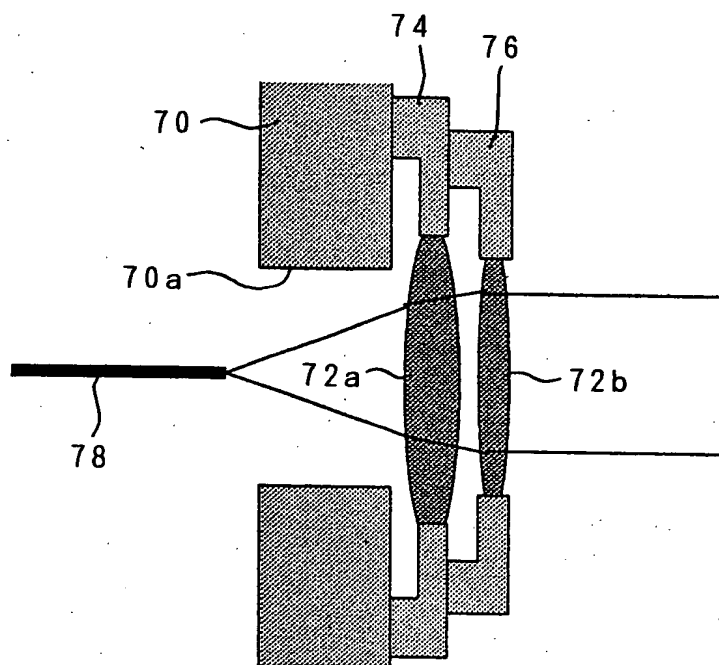
【図 2】



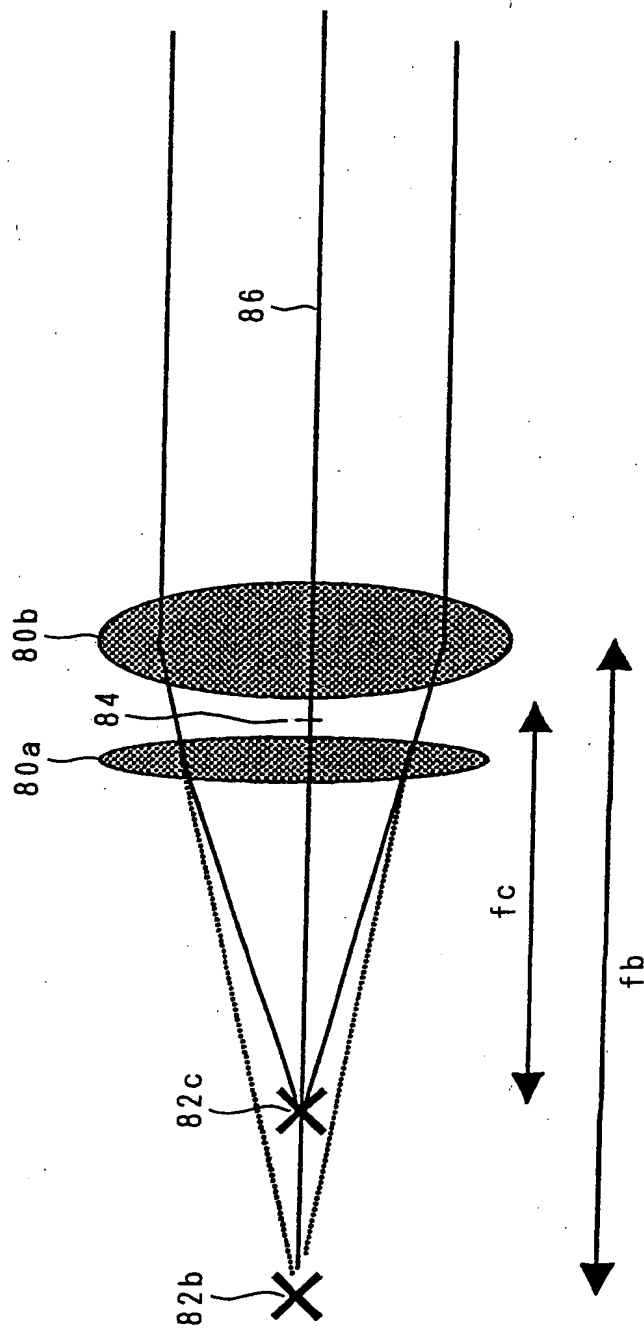
【図 3】



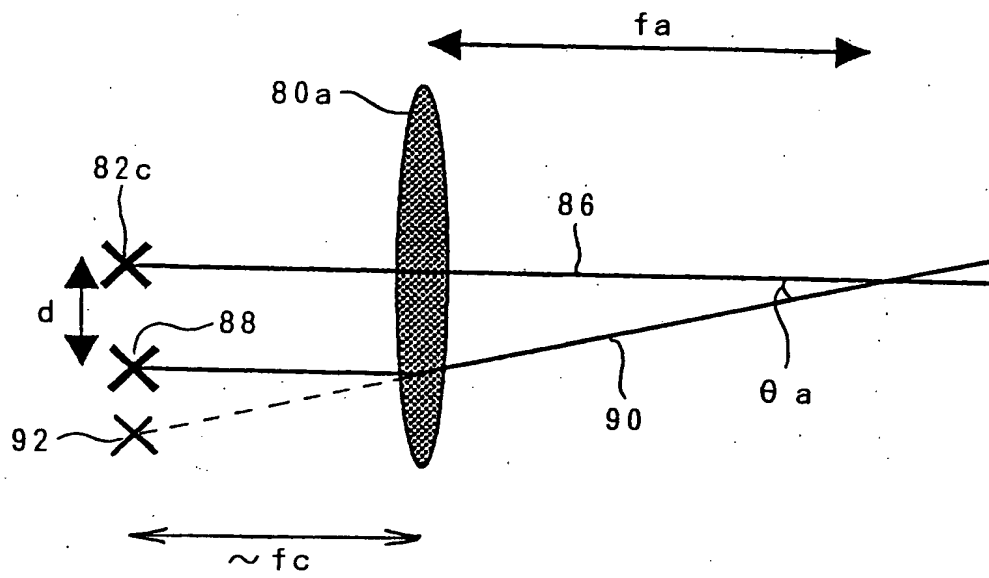
【図4】



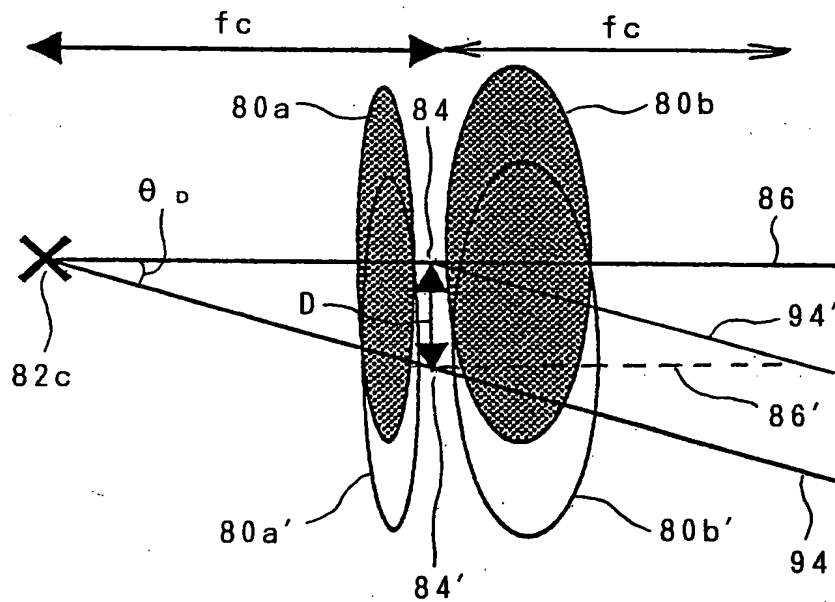
【図 5】



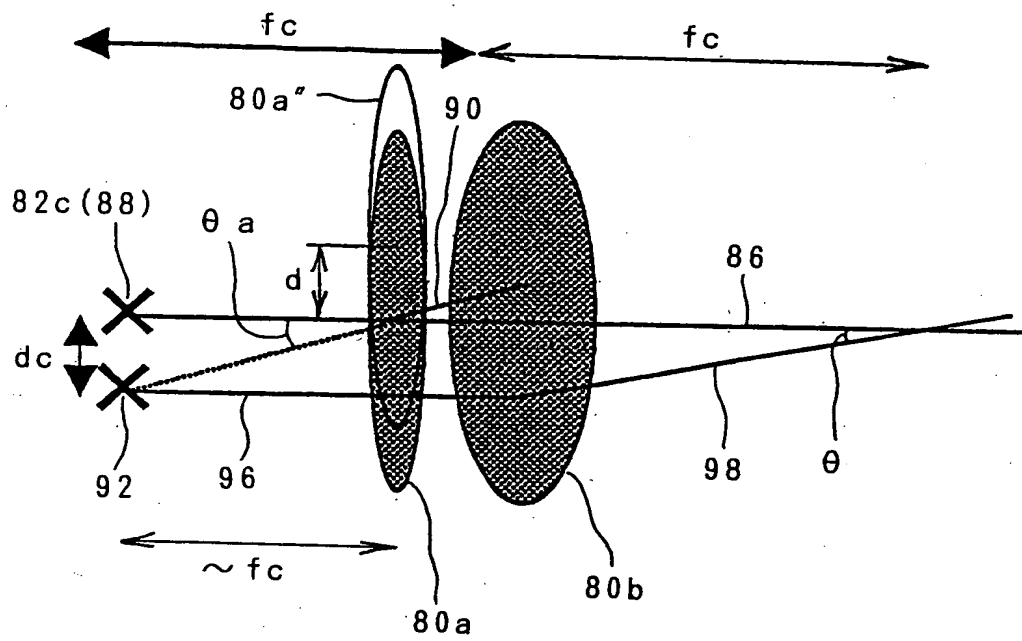
【図 6】



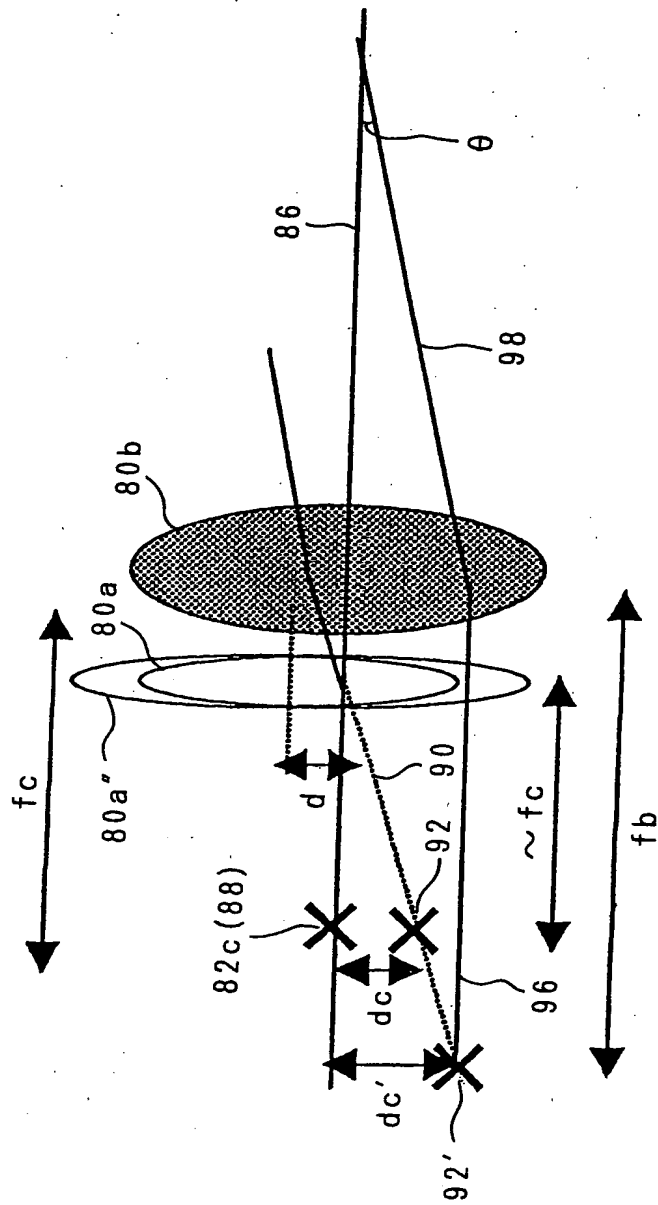
【図 7】



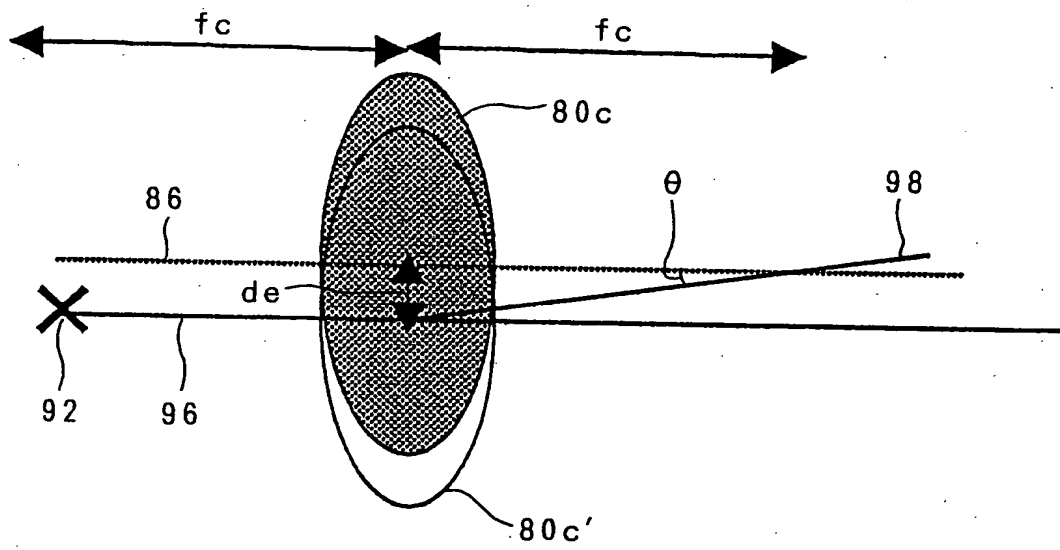
【図 8】



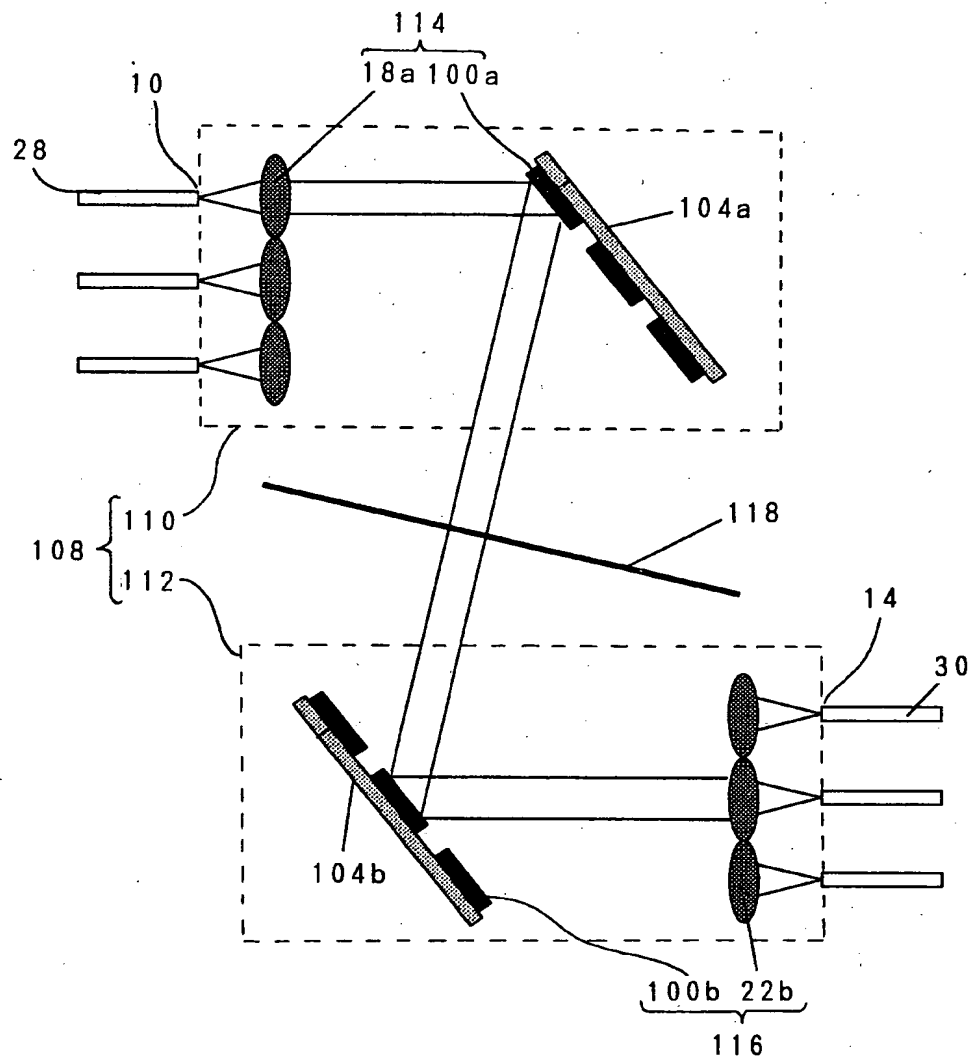
【図 9】



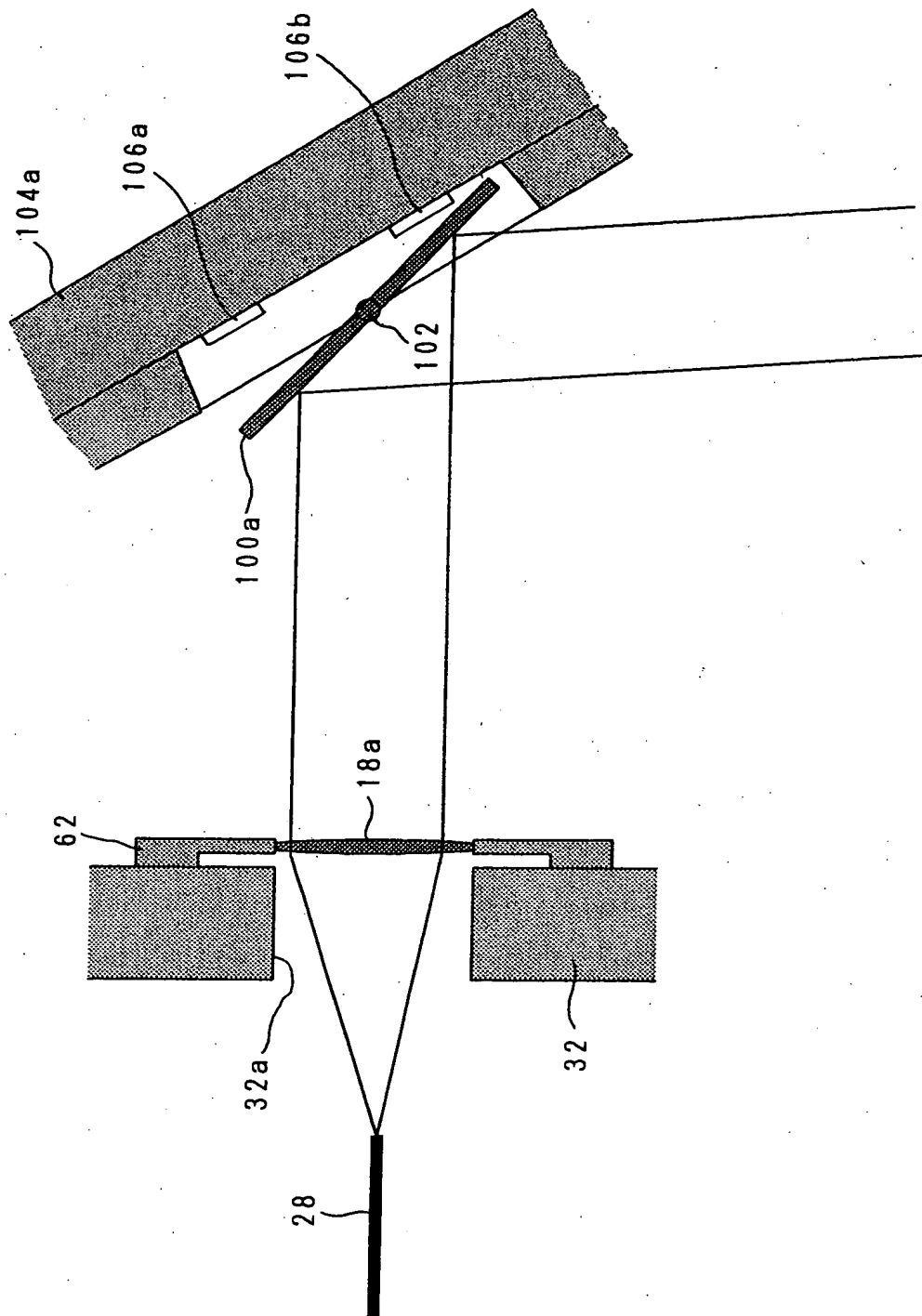
【図 1 0】



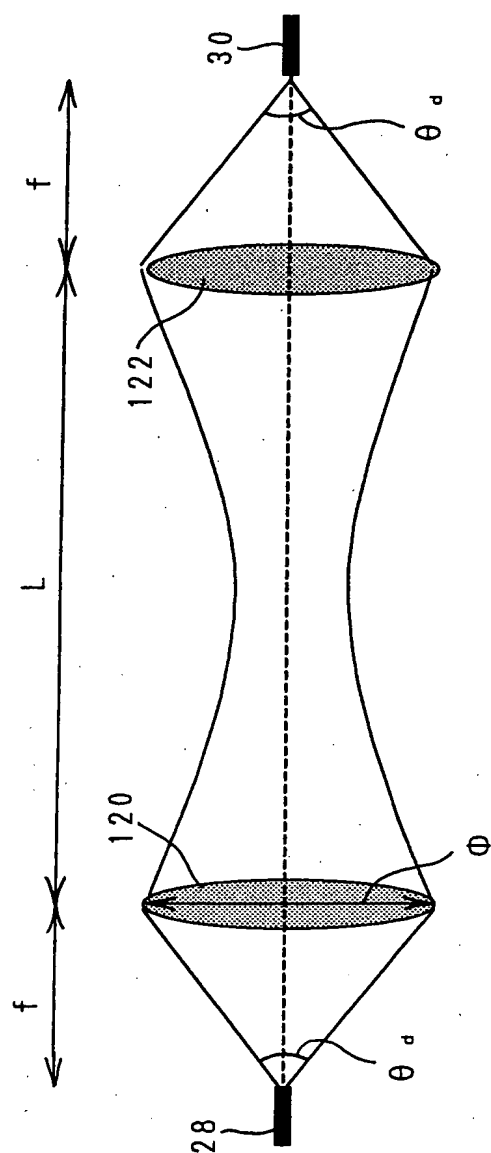
【図 11】



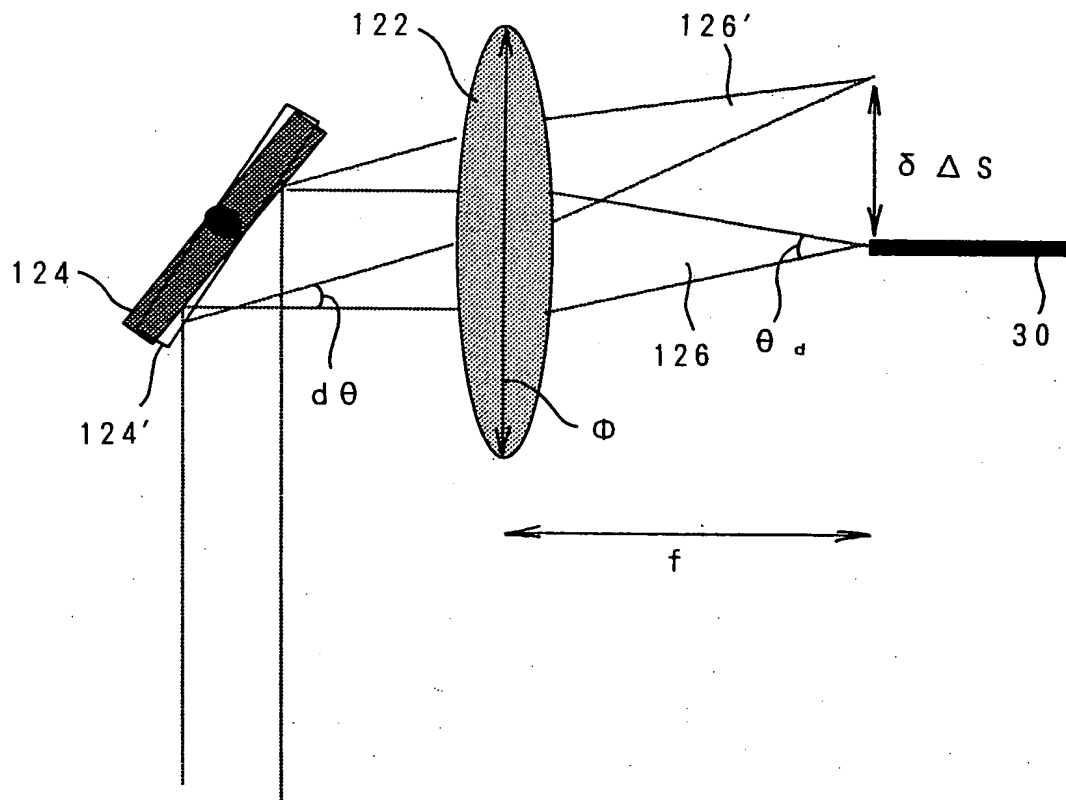
【図12】



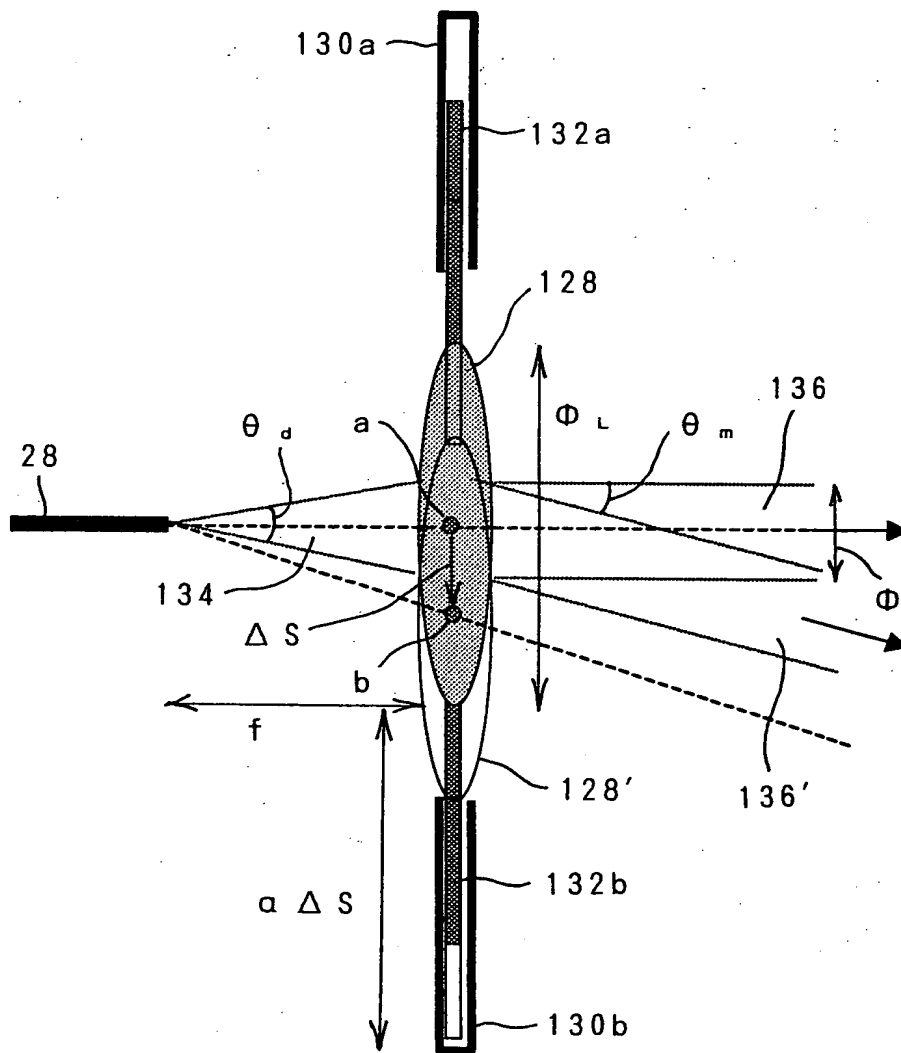
【図 13】



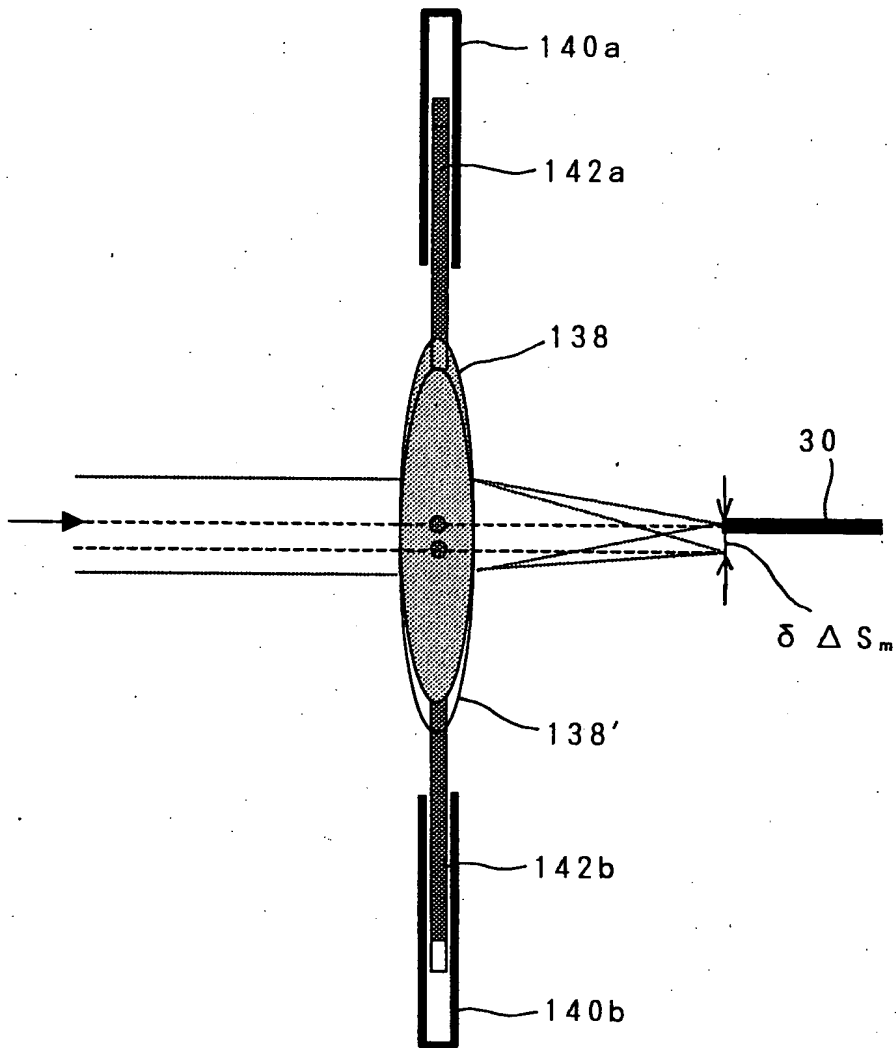
【図 1 4】



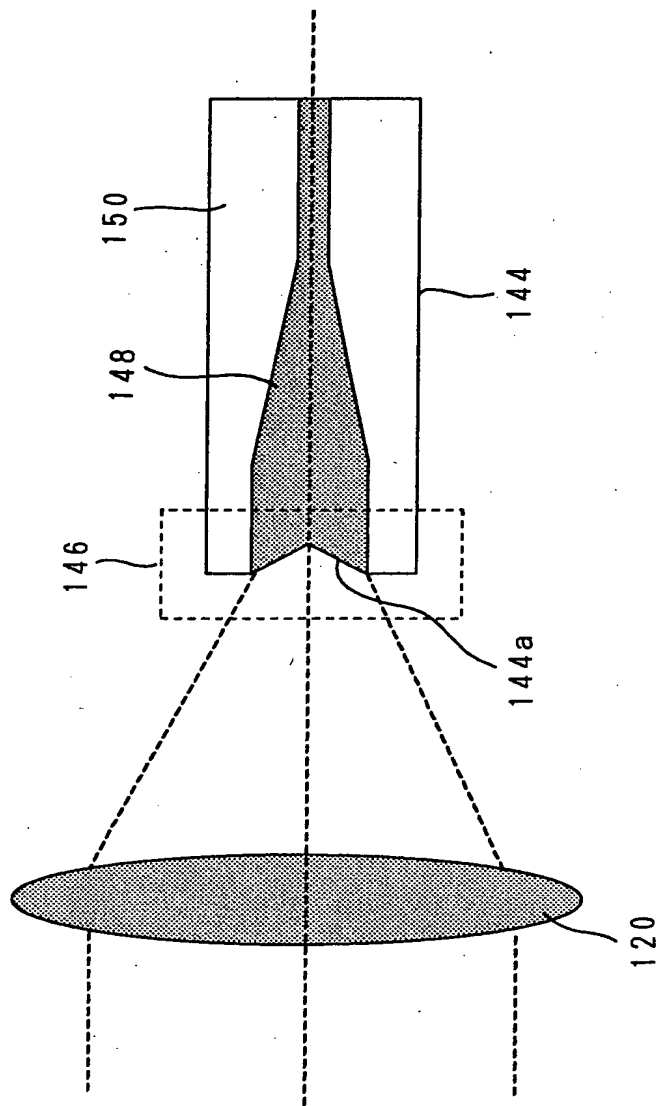
【図 15】



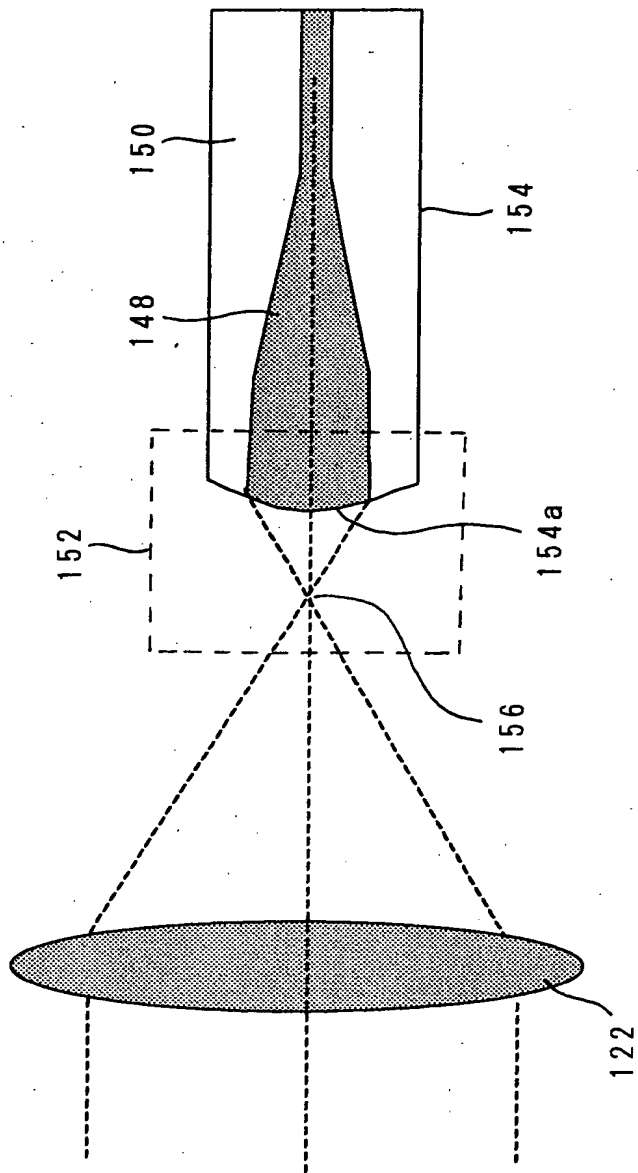
【図 1 6】



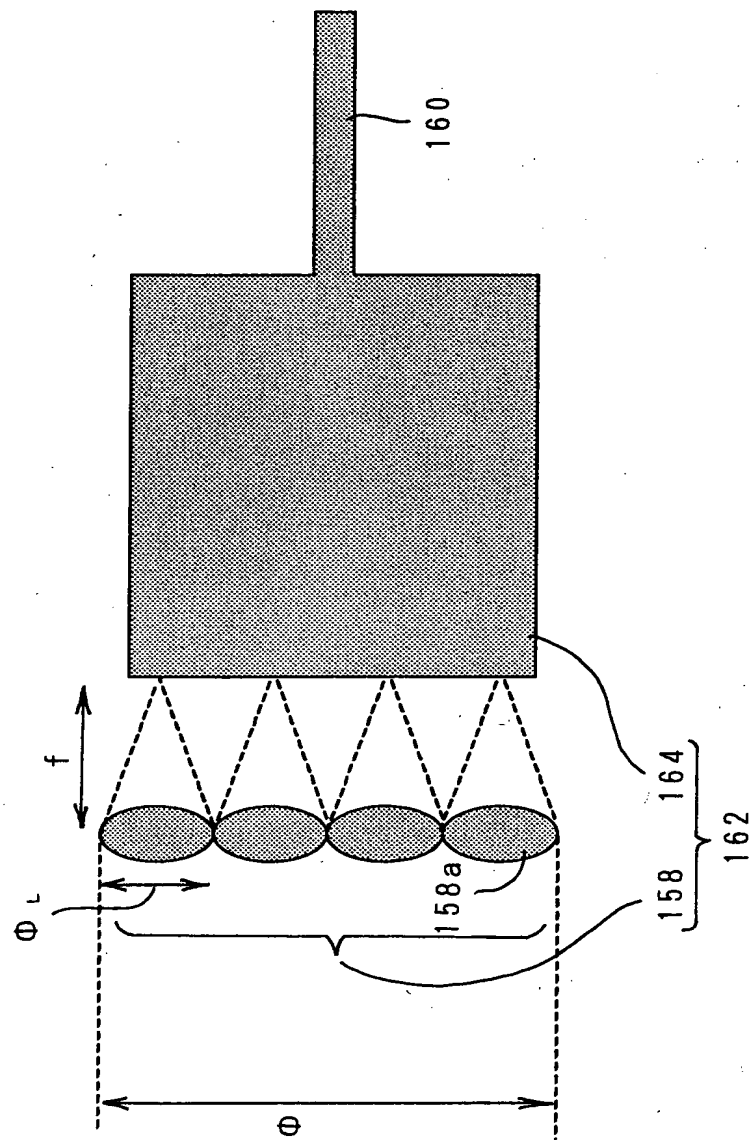
【図 17】



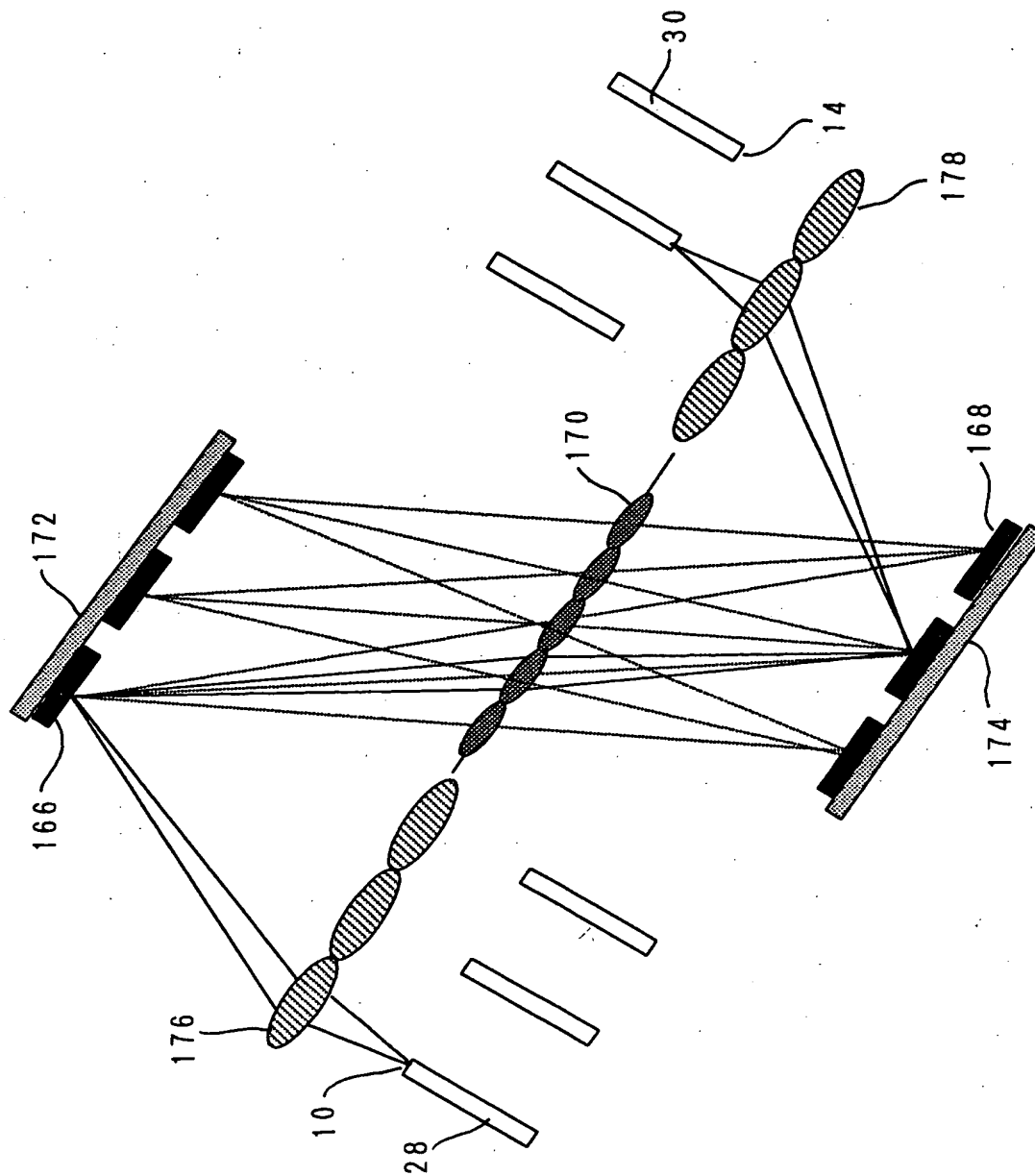
【図18】



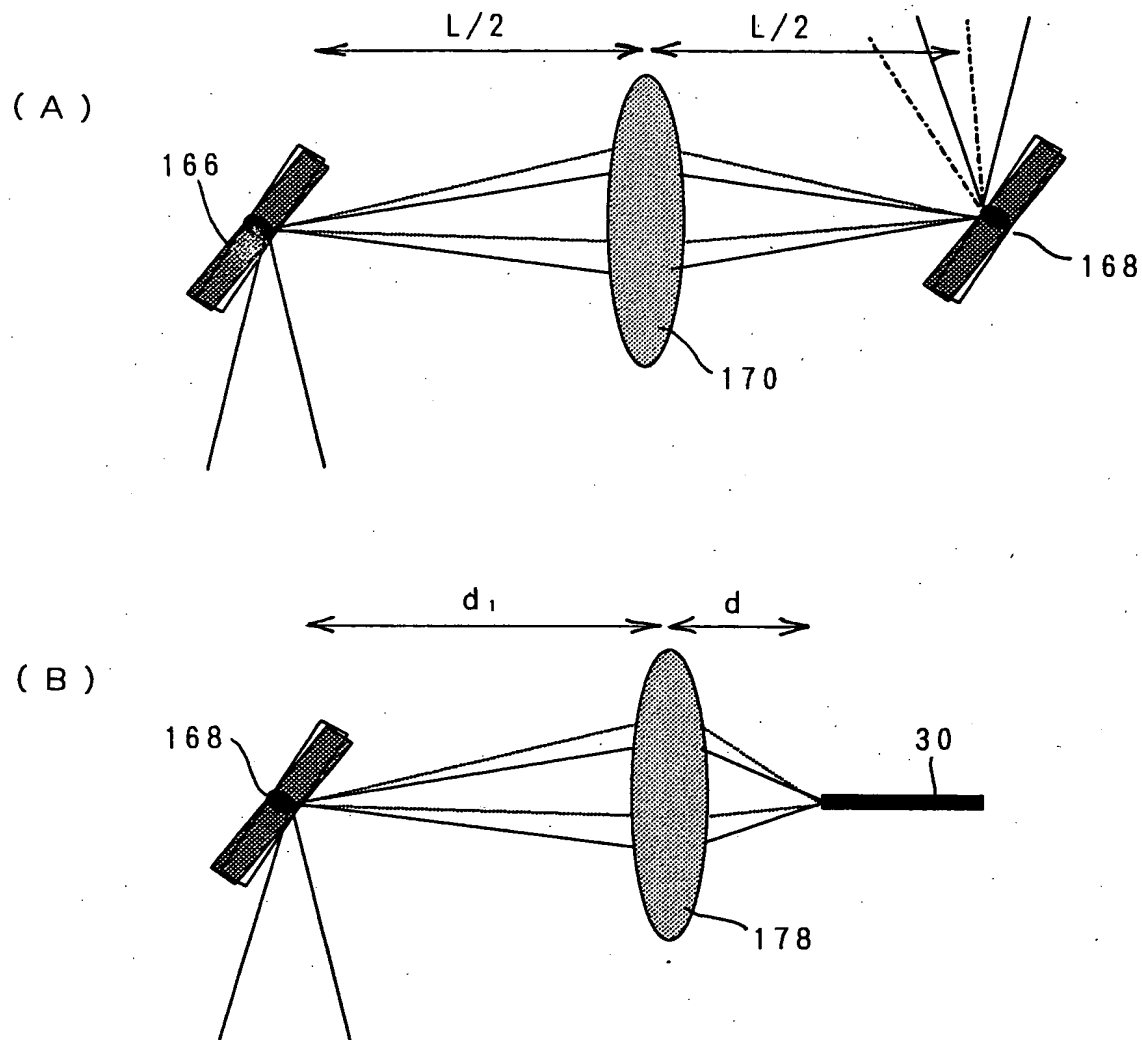
【図 1 9】



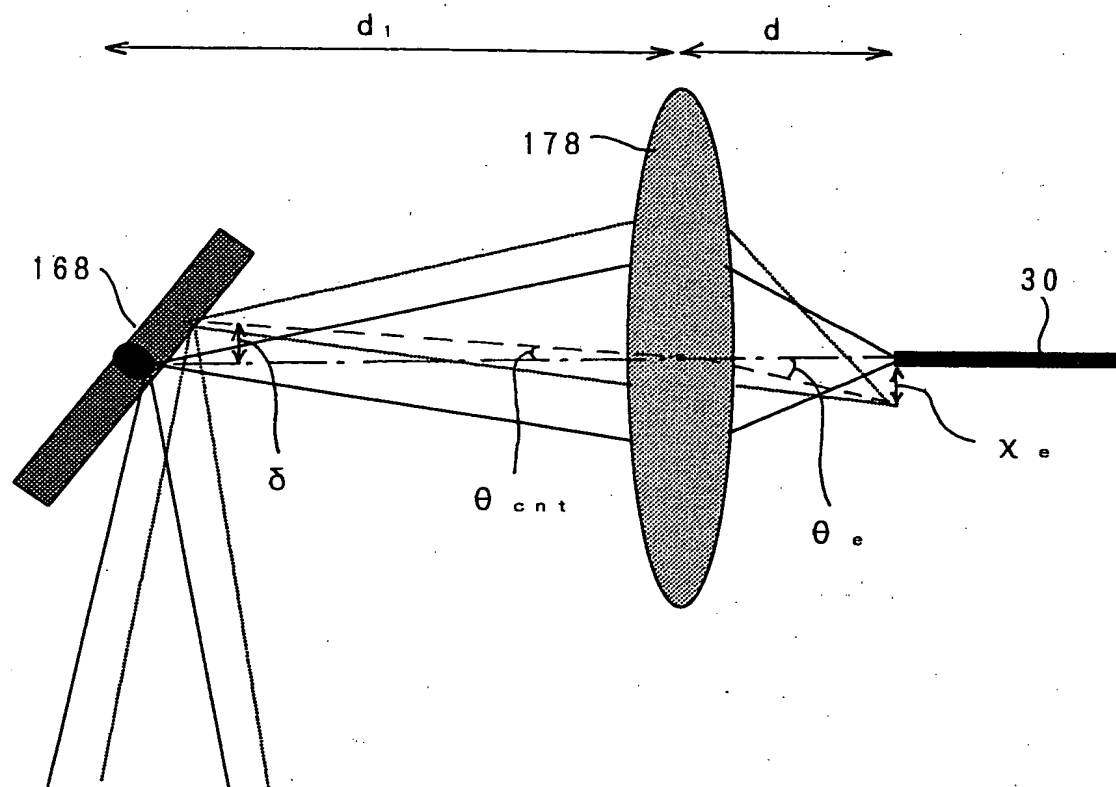
【図 20】



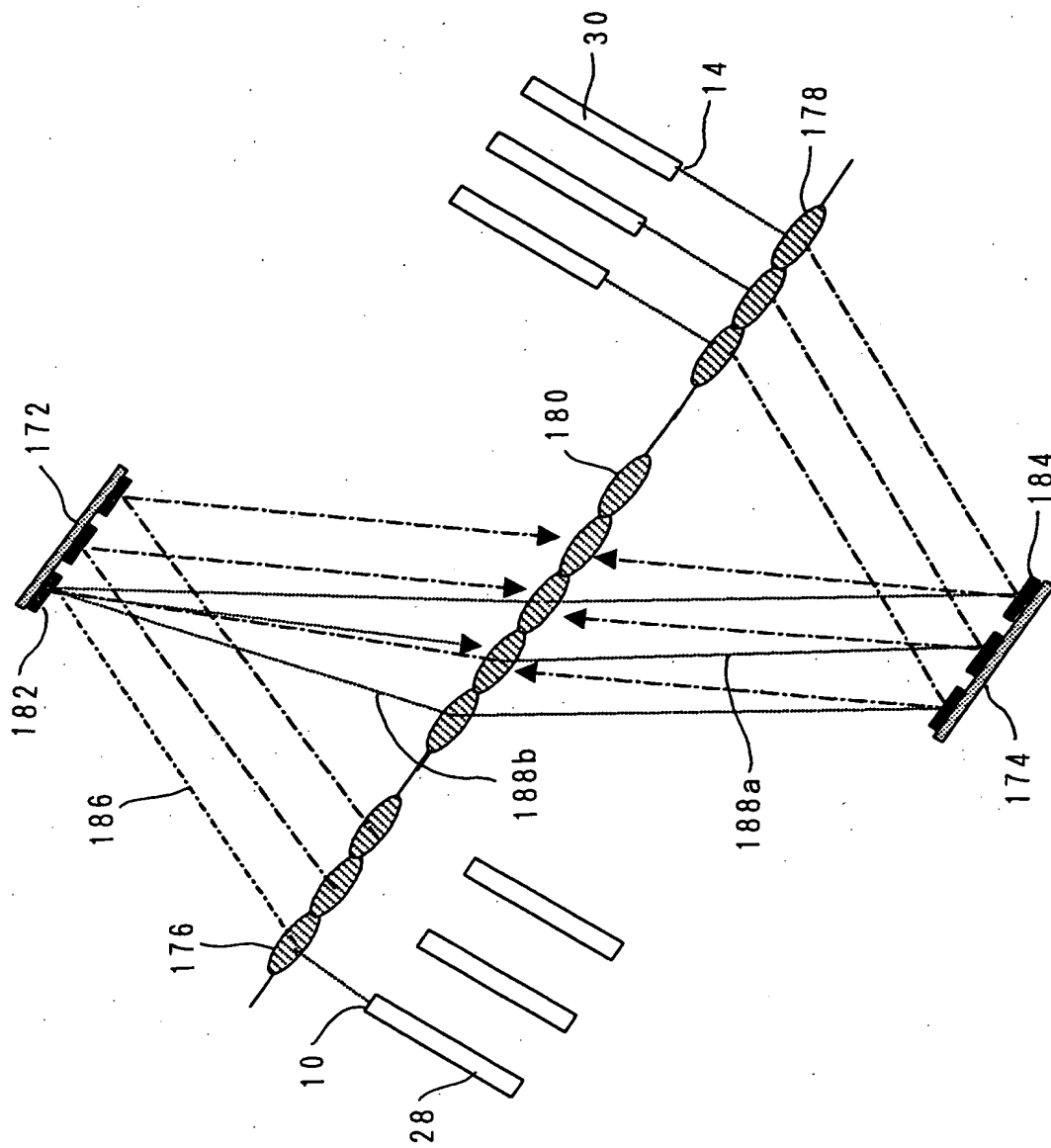
【図 21】



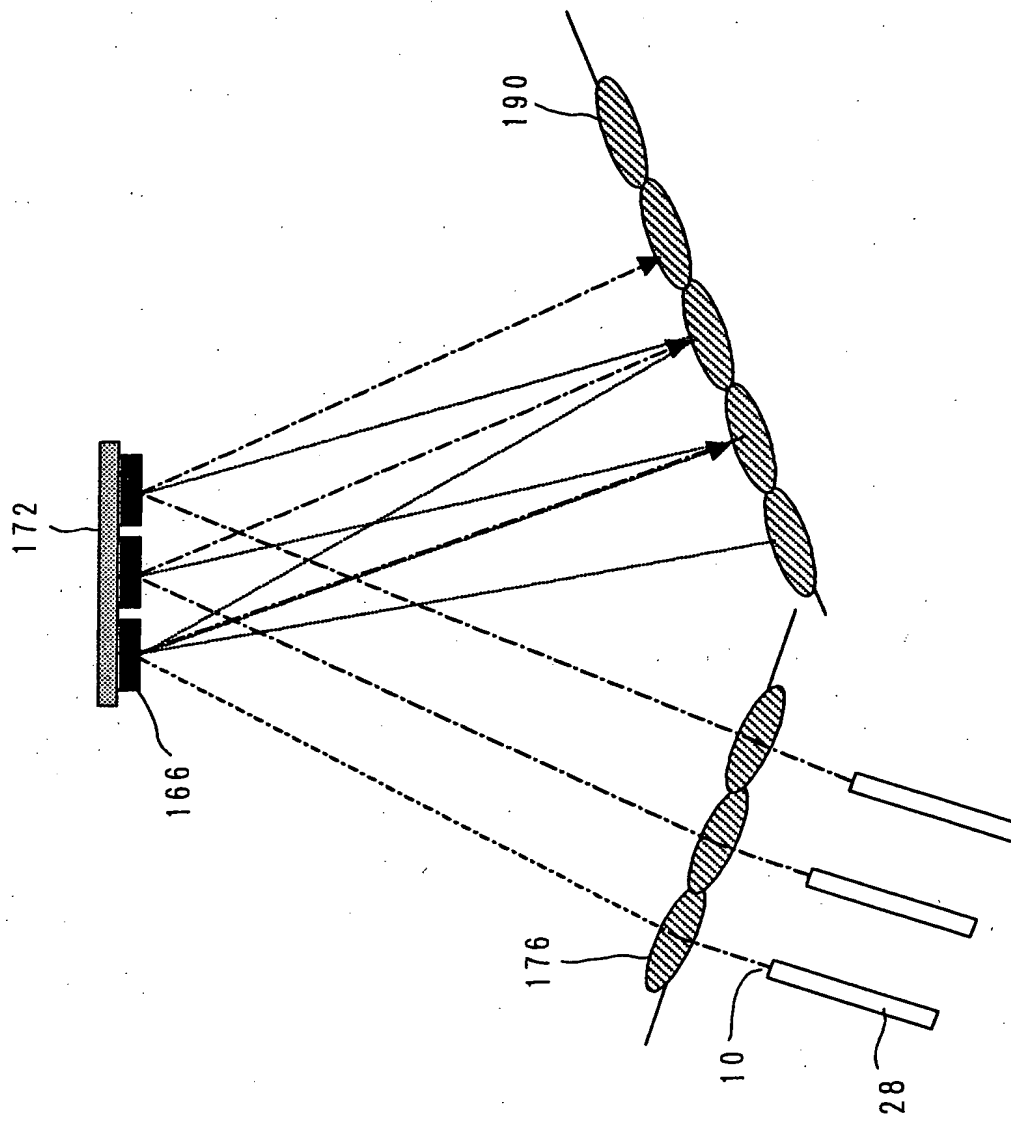
【図 22】



【図 23】

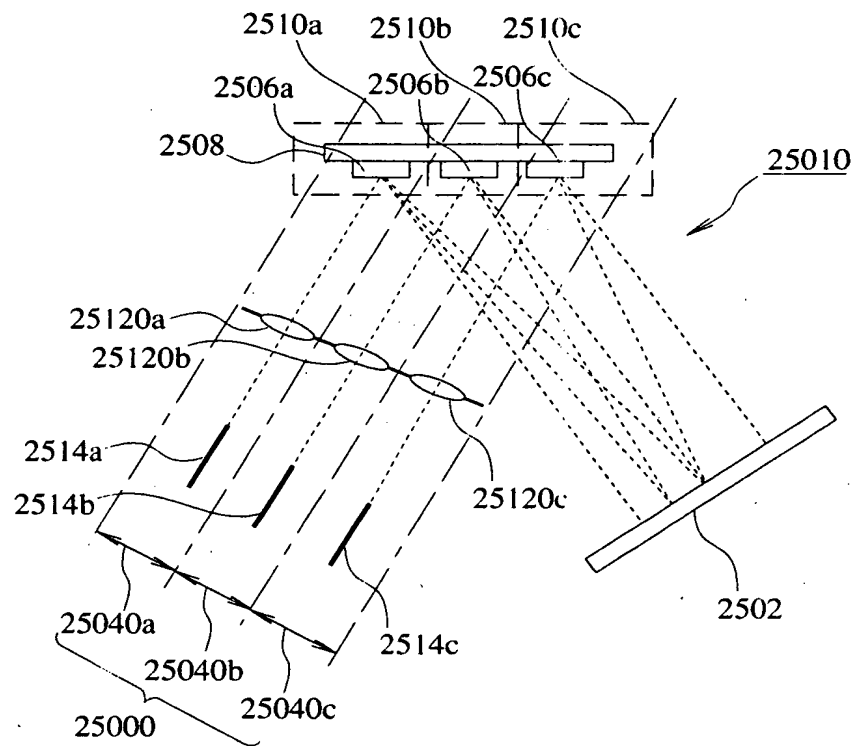


【図 24】

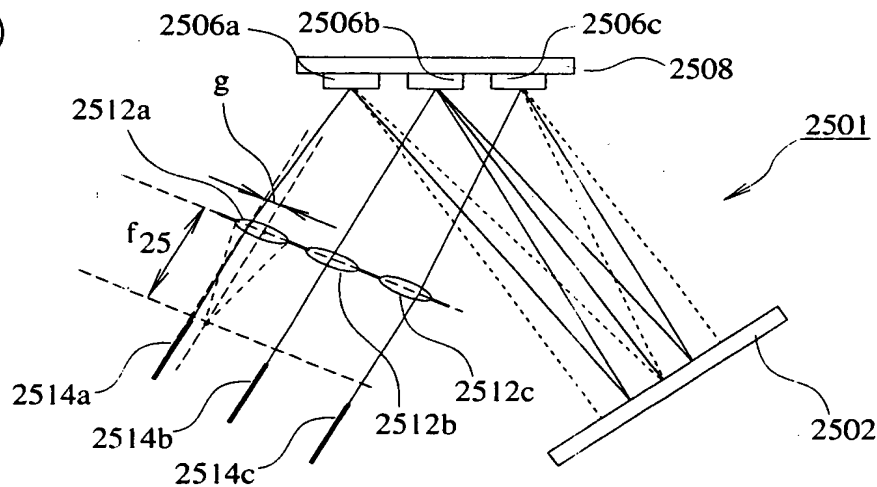


【図 25】

(A)



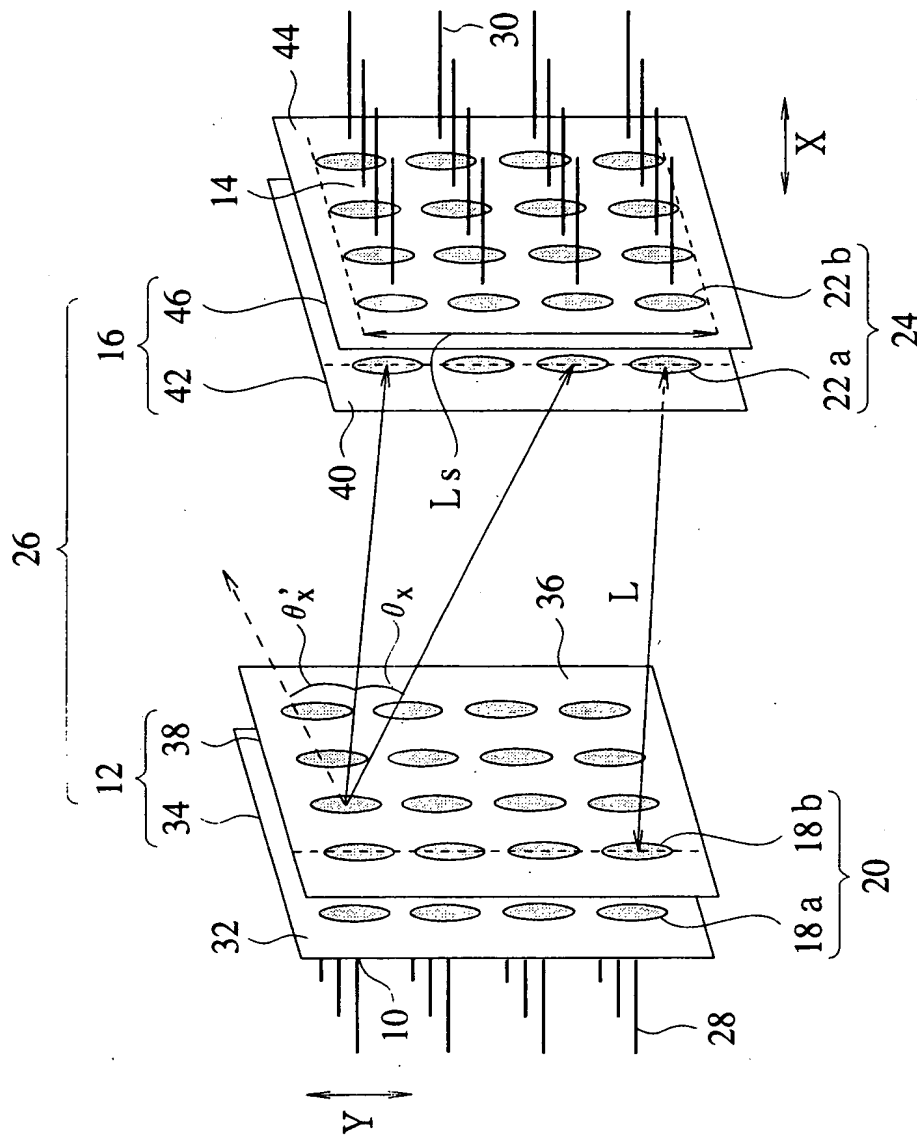
(B)



- | | | |
|-----------------------|-------------------------------|------------|
| 25010：光スイッチ | 25000：入出力側スイッチ要素 | 2502：固定反射鏡 |
| 25040a～25040c：光入出力ポート | | |
| 2506a～2506c：可動ミラー | 2508：基板 | |
| 2510a～2510c：光偏向素子 | 25120a～25120c：コリメータレンズ（固定レンズ） | |
| 2514a～2514c：光ファイバ | 2501：光スイッチ | |
| 2512a～2512c：固定レンズ | | |

第 8 の実施の形態と従来の光スイッチの構成例（光学素子は固定反射鏡）

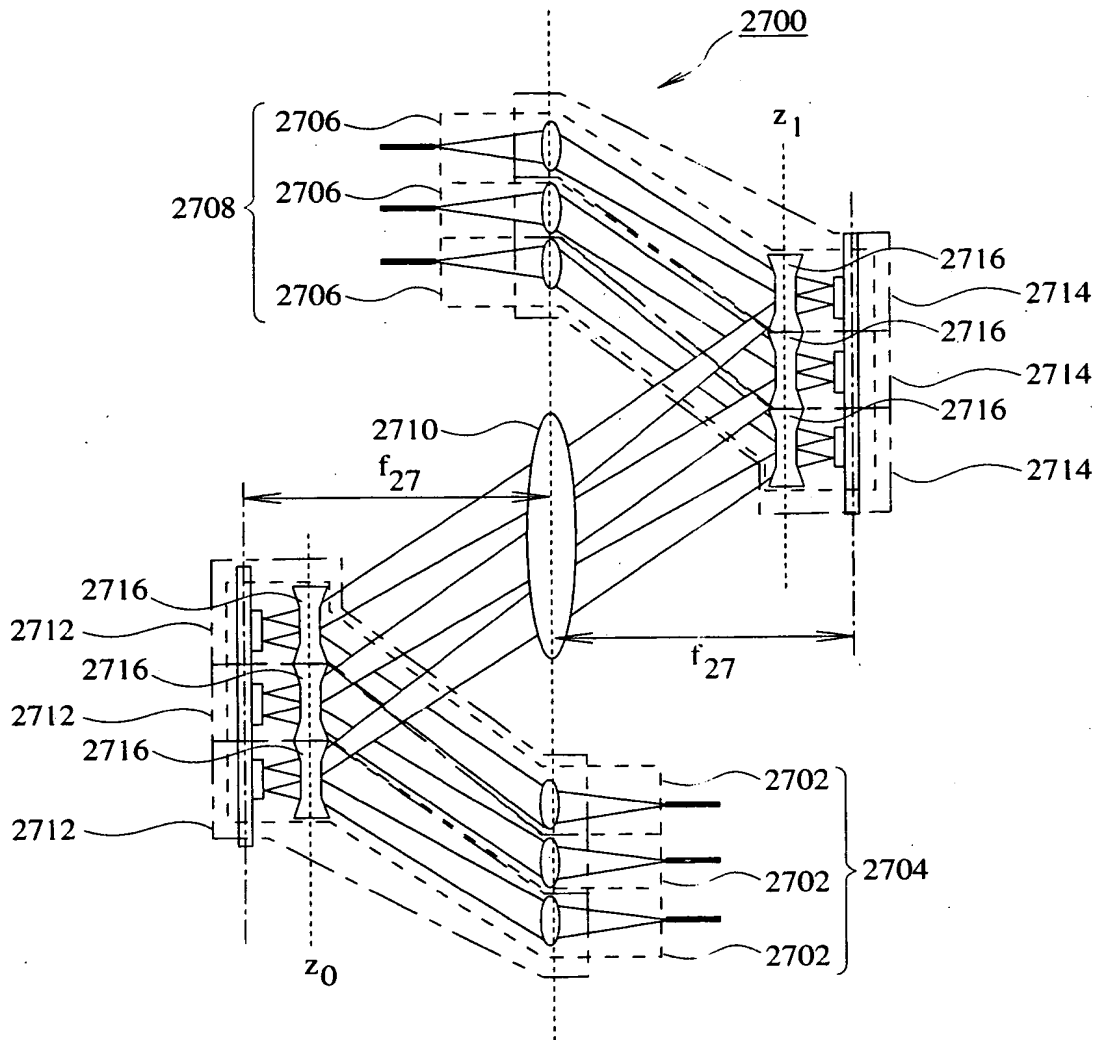
【図 26】



X : 水平方向 Y : 上下方向

第 1 ~ 第 5 の実施の形態の改良点

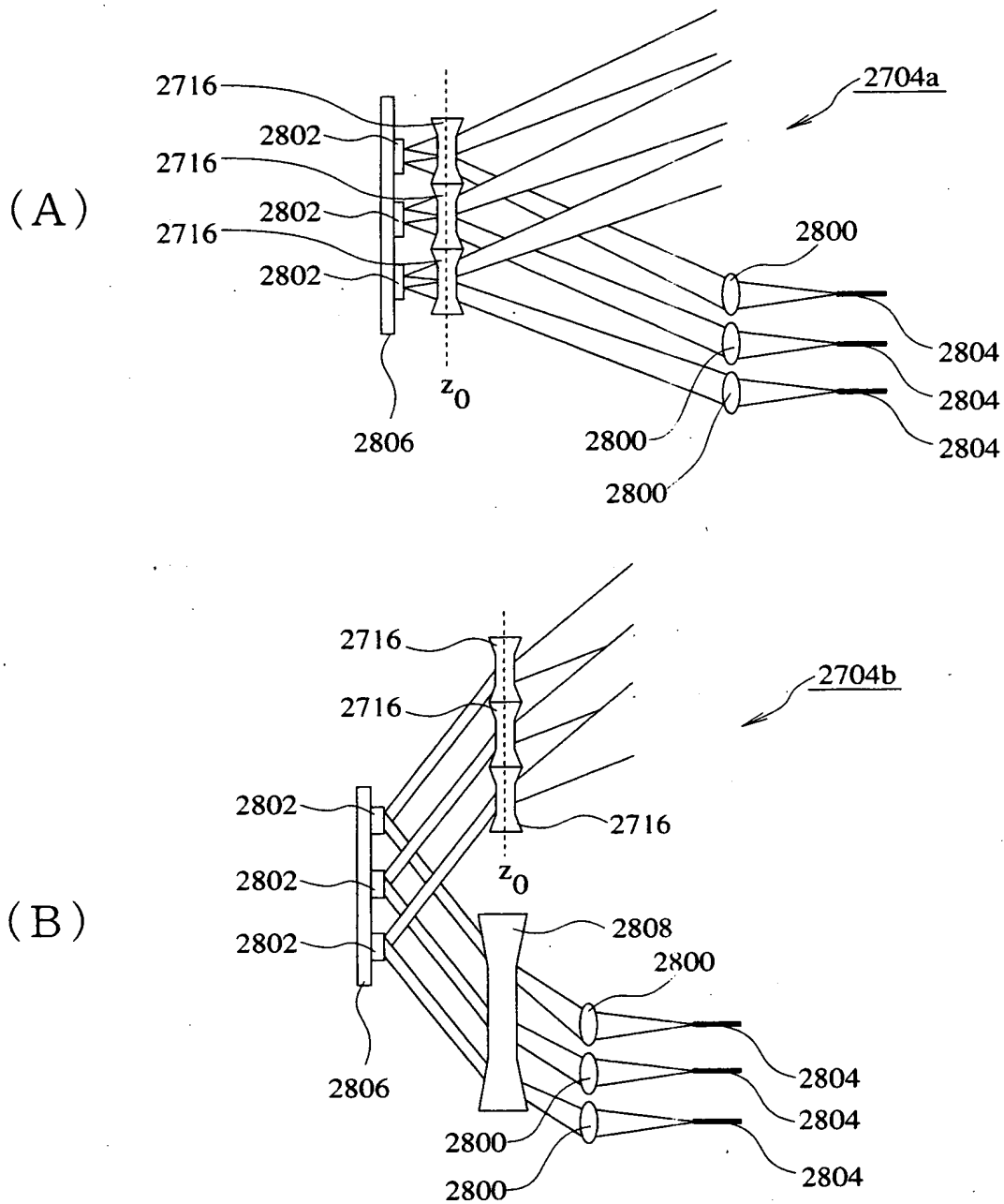
【図 2 7】



2700:光スイッチ 2702:光入力ポート 2704:入力側スイッチ要素
 2706:光出力ポート 2708:出力側スイッチ要素 2710:光学素子(凸レンズ)
 2712:入力側レンズ系
 2714:出力側レンズ系
 2716:凹レンズ
 z_0 :入力側スイッチ要素の光が出射する面
 z_1 :出力側スイッチ要素の光が入射する面
 f_{27} :光学素子(凸レンズ) 2710の焦点距離

第 6 の実施の形態の光スイッチ (光学素子は凸レンズ)

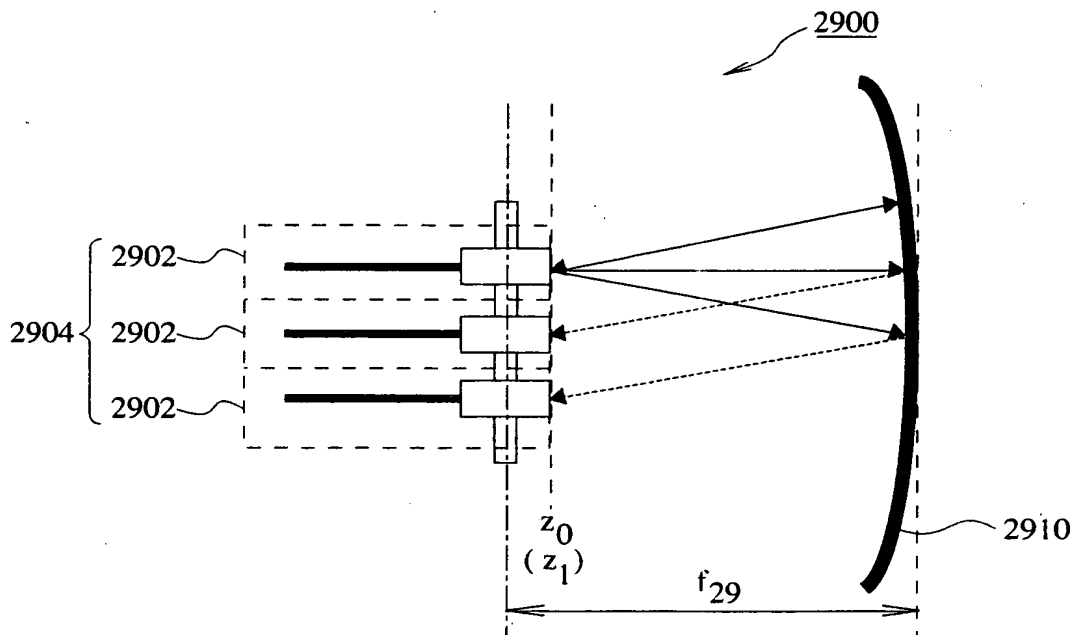
【図 2 8】



2704a：第 1 の形態の入力側スイッチ要素
 2704b：第 2 の形態の入力側スイッチ要素
 2800：固定レンズ 2802：可動ミラー 2804：光ファイバ
 2806：基板 2808：第 2 の凹レンズ

入力側スイッチ要素の構成

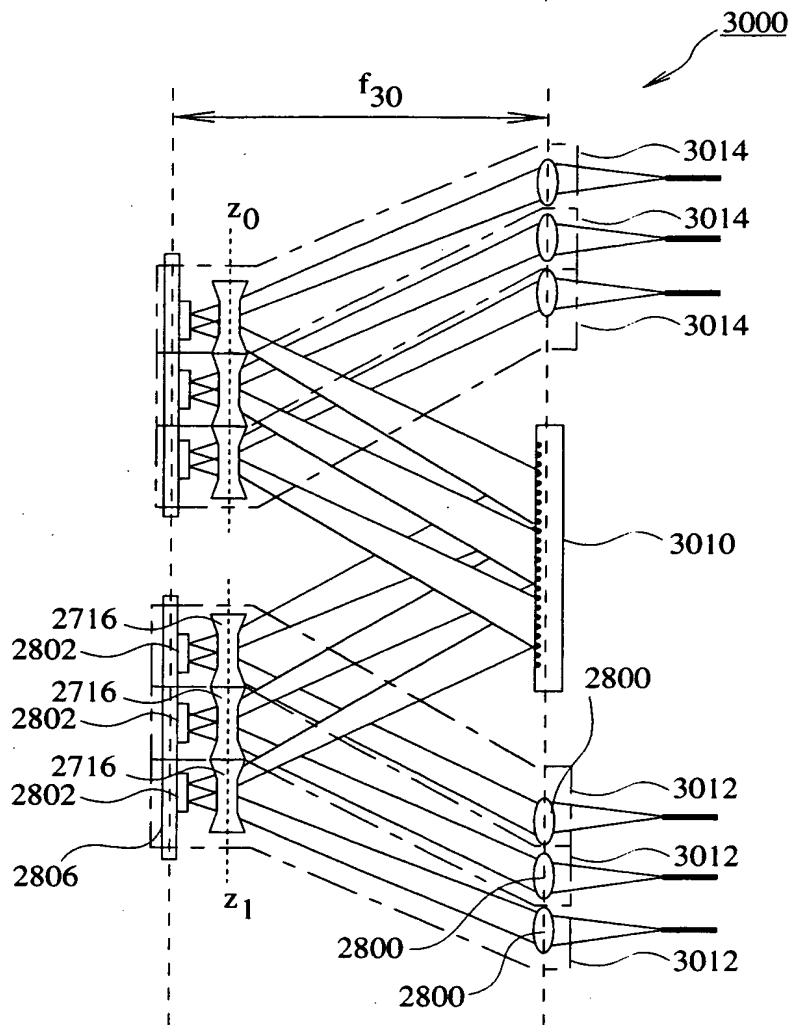
【図 2 9】



2900：光スイッチ 2902：光入出力ポート 2904：入出力側光スイッチ要素
 2910：光学素子（凹面鏡）
 f_{29} ：凹面鏡2910の焦点距離

第 6 の実施の形態の光スイッチの例（光学素子は凹面鏡）

【図 3 0】

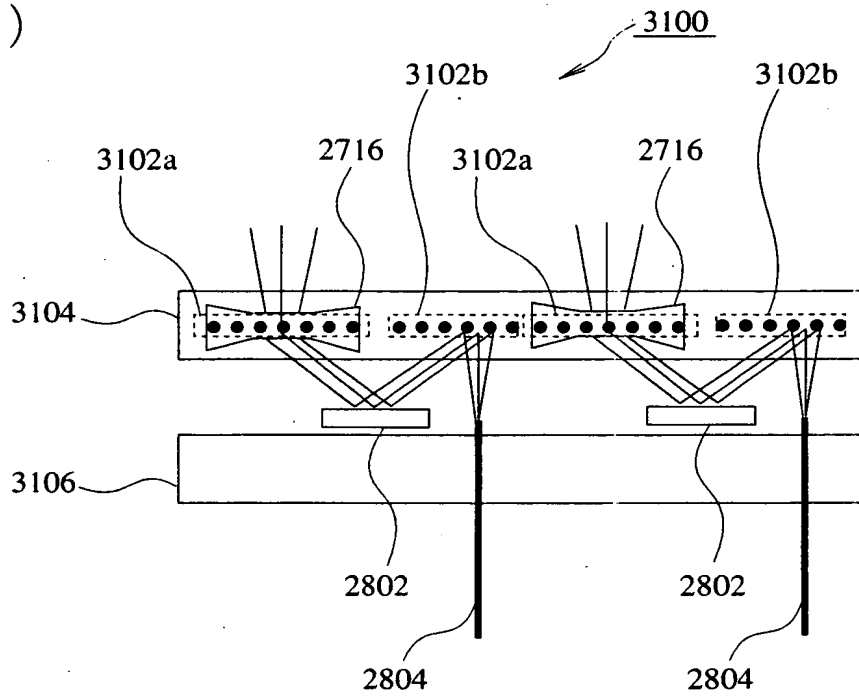


3000：光スイッチ 3010：光学素子（ホログラム）
 3012：入力側レンズ系
 3014：出力側レンズ系
 f_{30} ：光学素子3010の焦点距離

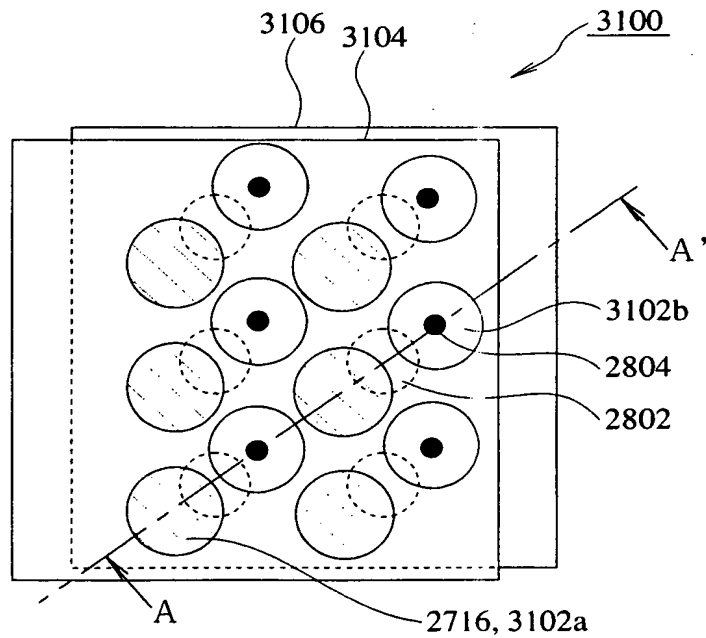
第 6 の実施の形態の光スイッチ（光学素子はホログラム）

【図 3 1】

(A)



(B)



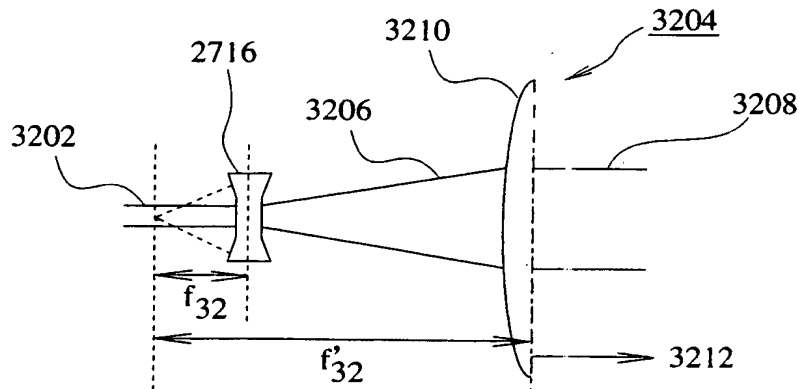
3100：入力側スイッチ要素
3104：基板 a

3102a, 3102b：ホログラム
3106：基板 b

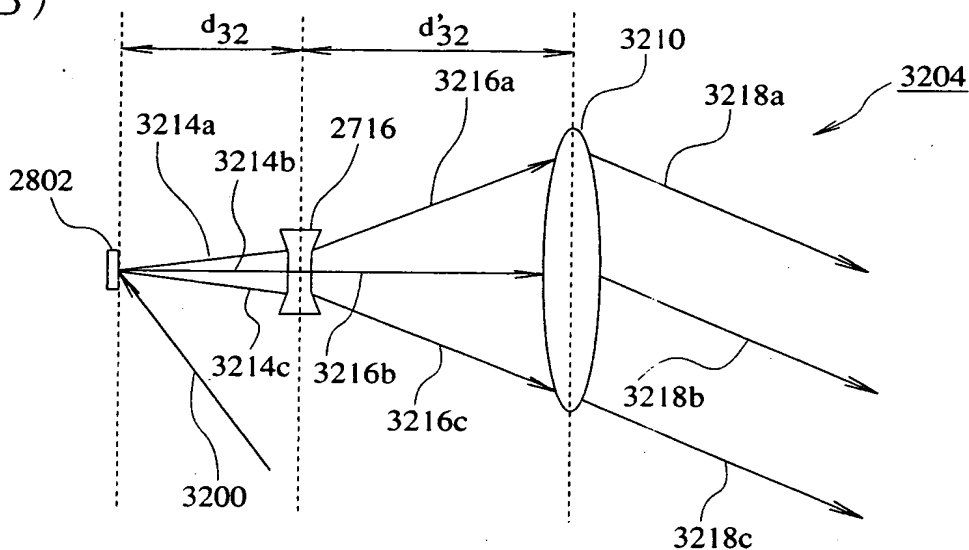
基板上に集積されたレンズ系を示す例

【図 3 2】

(A)



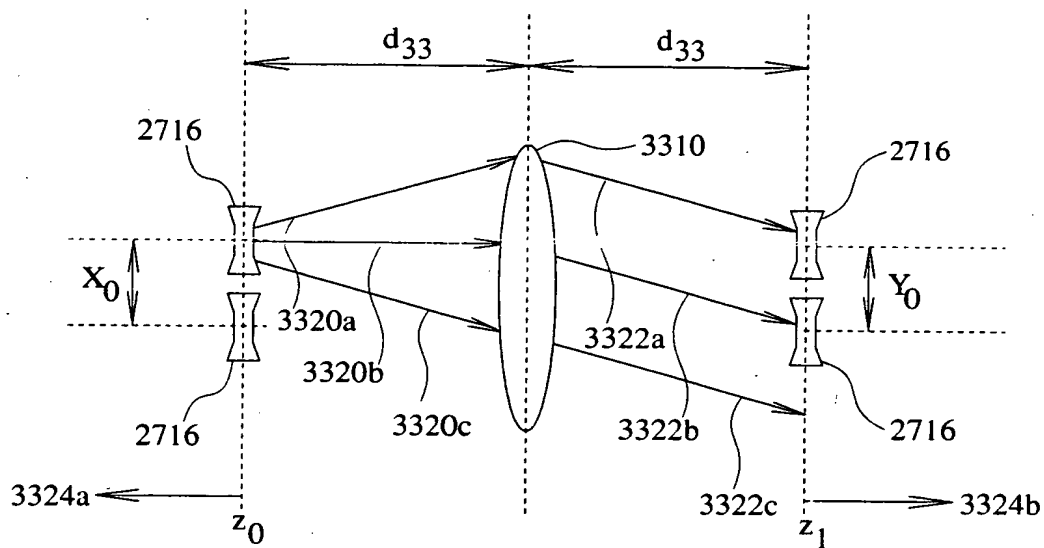
(B)



- 3202, 3206, 3208 : 光線束の形状 3204 : 入力側スイッチ要素
 3210 : 光学素子 3212 : 光学素子の内部
 f_{32} : 凹レンズの虚焦点までの距離
 f'_{32} : 光学素子の焦点距離
 3200 : 可動ミラー2802への入射光線束の中心光路
 3214a~3214c, 3216a~3216c, 3218a~3218c : 光線束の形状
 d_{32} : 可動ミラーと凹レンズ間の距離
 d'_{32} : 凹レンズと光学素子間の距離

第 6 の実施の形態の光スイッチにおける光束の形状を示す図

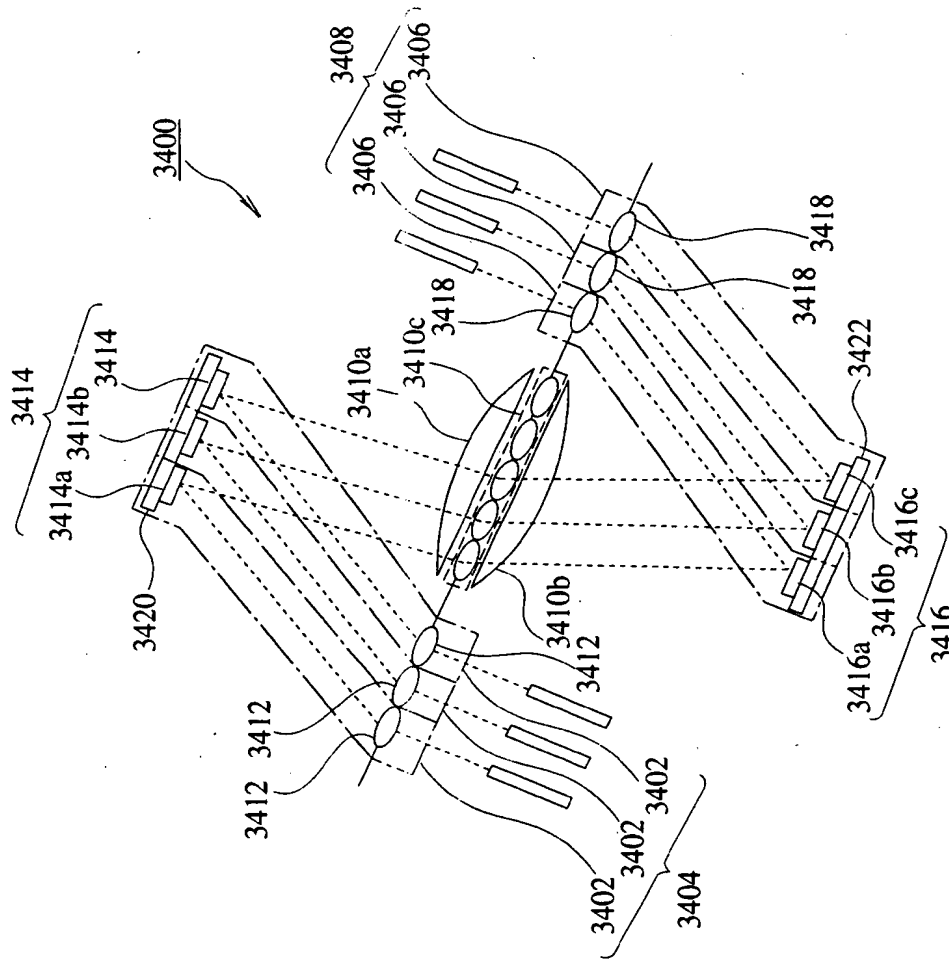
【図 3 3】



- 3310：光学素子
 3320a～3320c, 3322a～3322c：光線束の形状
 3324a：入力側スイッチ要素
 3324b：出力側スイッチ要素
 d_{33} ：光学素子3310と光が出射する面 z_0 の間の距離
 X_0 ：光が出射する面 z_0 に設けられた凹レンズ2716の中心間の距離
 Y_0 ：光が入射する面 z_1 に設けられた凹レンズ2716の中心間の距離

入力側スイッチ要素と出力側スイッチ要素間の光束の形状を示す図

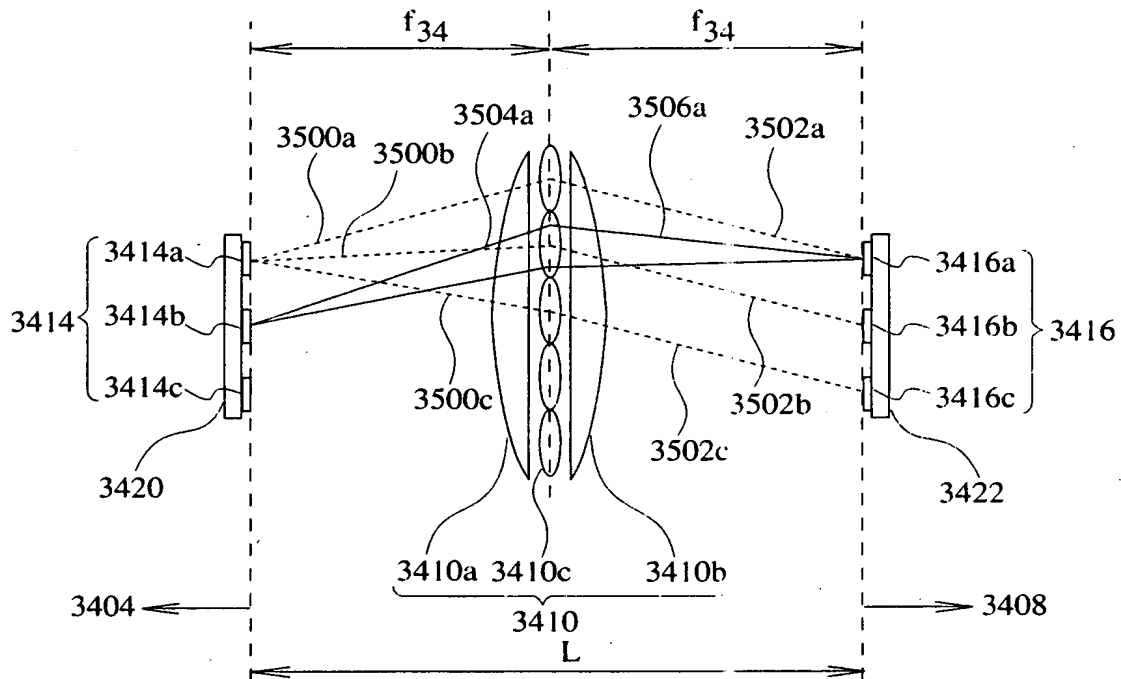
【図 34】



3400 : 光スイッチ
 3408 : 出力側スイッチ要素
 3414, 3416 : 可動ミラー
 3402 : 入力側レンズ系
 3410a, 3410b : 第2凸レンズ
 3420, 3422 : 基板
 3404 : 入力側スイッチ要素
 3410c : 第1凸レンズ
 3406 : 出力側レンズ系
 3412, 3418 : 固定レンズ

第7の実施の形態の光スイッチの例

【図 3 5】



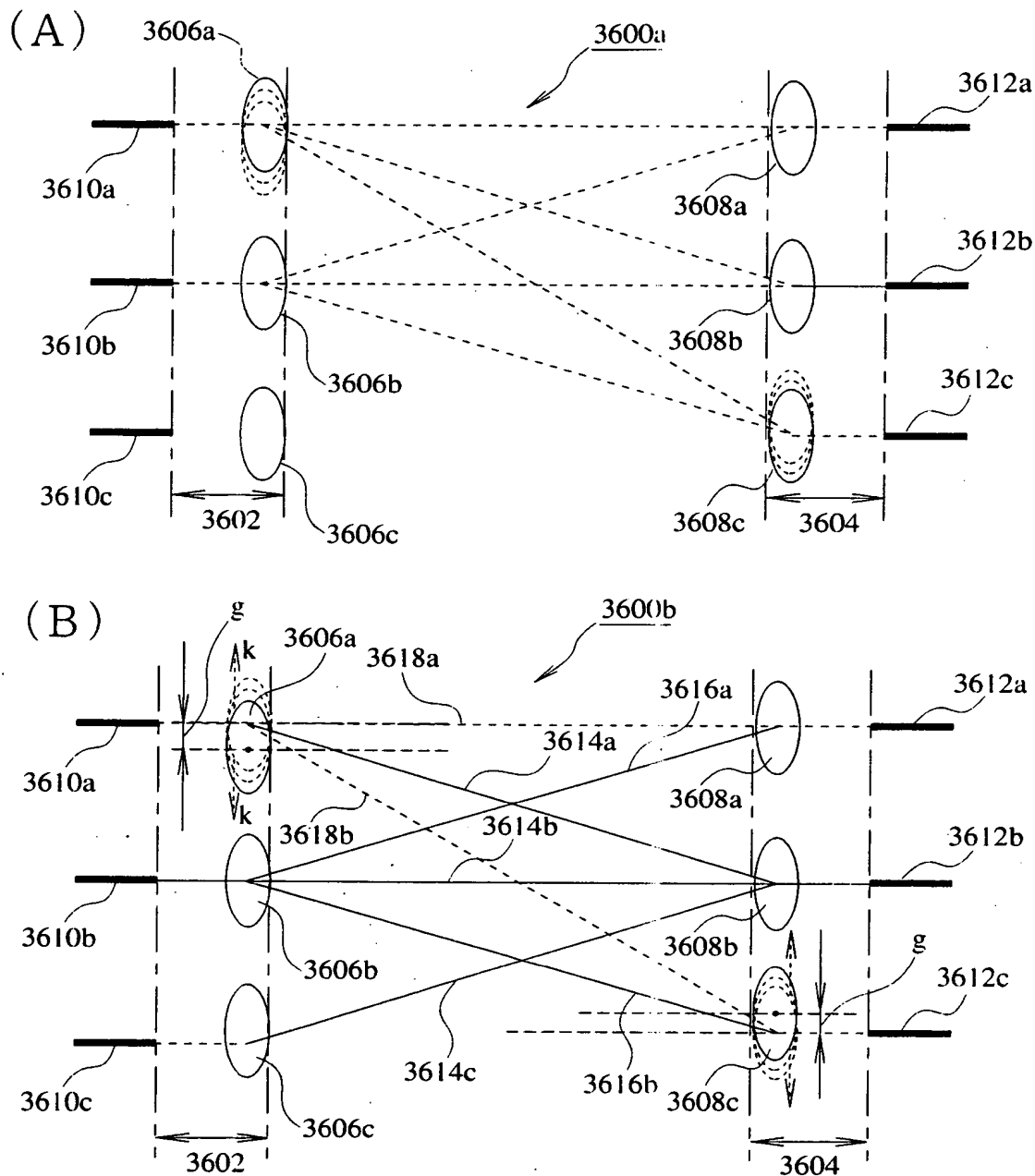
3410：合成レンズ

3500a～3500c, 3502a～3502c, 3504a, 3506a：光線束の形状

f_{34} ：合成レンズの焦点距離 L：可動ミラー3414、3416間の距離

第7の実施の形態における光学素子と可動ミラーの配置の例

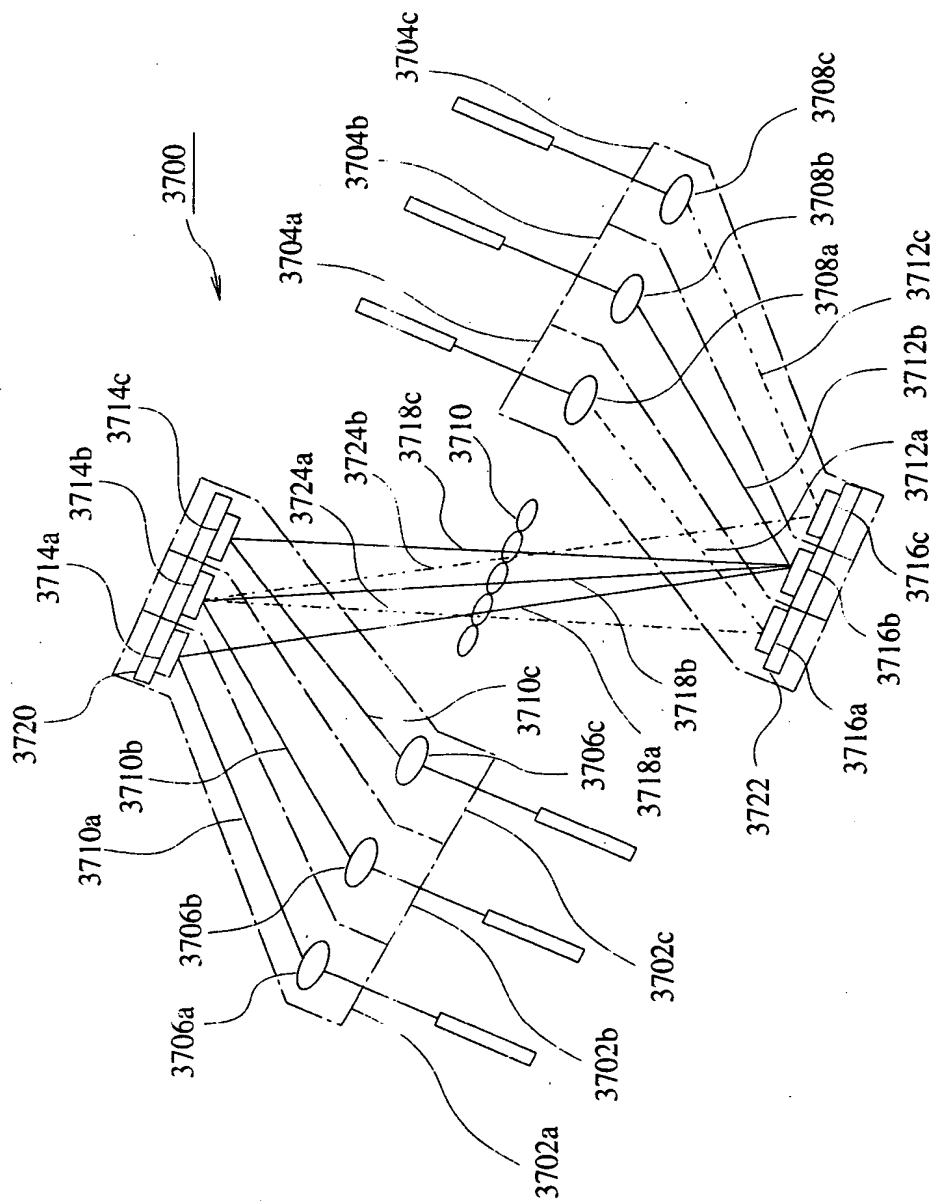
【図 36】



3600a, 3600b : 光スイッチ 3602 : 入力側スイッチ要素
 3604 : 出力側スイッチ要素 3606a~3606c, 3608a~3608c : 可動レンズ
 3610a~3610c, 3612a~3612c : 光ファイバ
 3614a~3614c, 3616a, 3616b, 3618a, 3618b : 光線束の中心光路

動作における改良前の光スイッチと第 8 の実施の形態との比較例

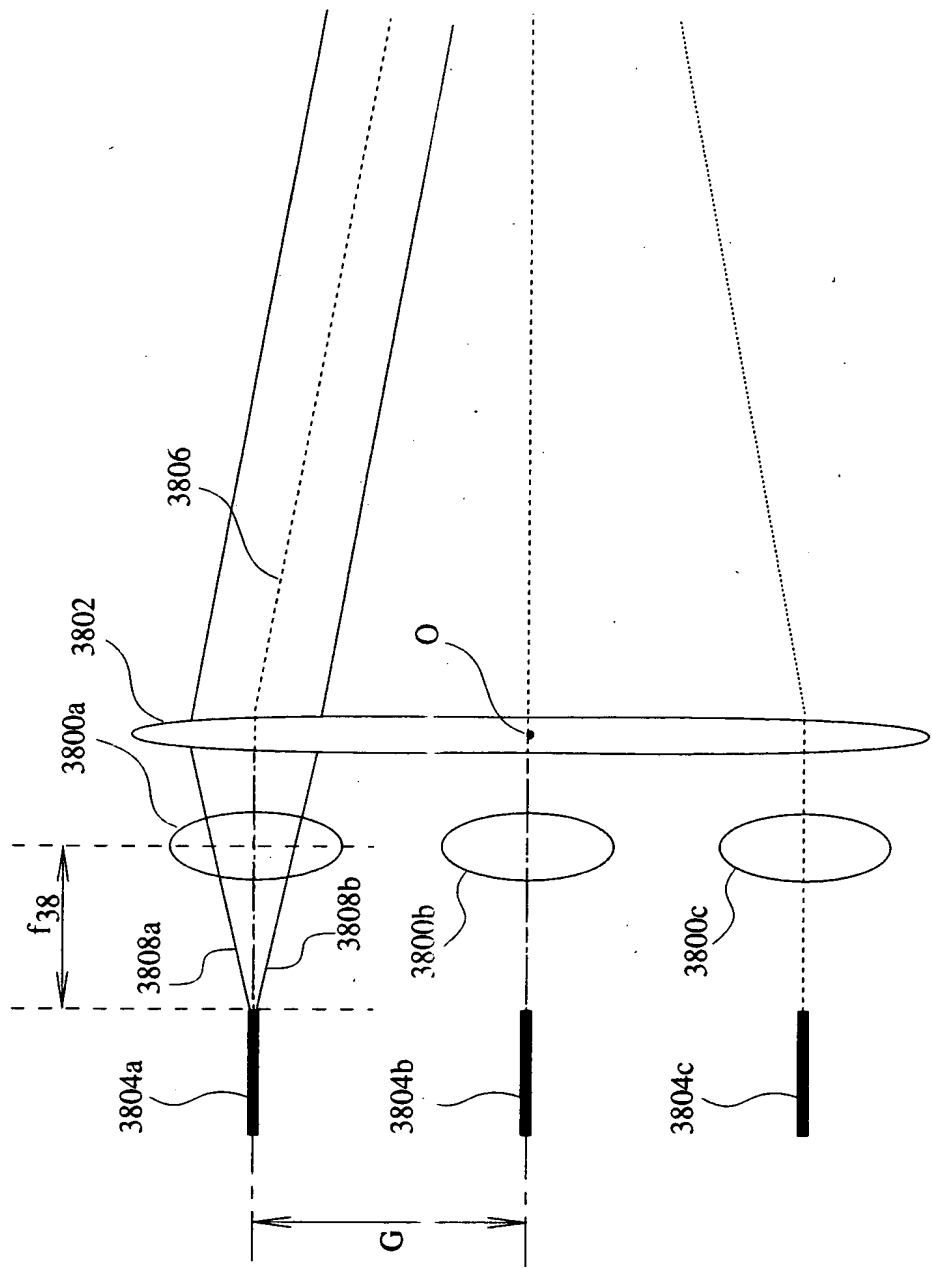
【图 3 7】



3702a～3702c：入力ポート 3704a～3704c：出力ポート 3706a～3706c：入力側固定レンズ
3708a～3708c：出力側固定レンズ
3710a～3710c,3712a～3712c,3718a～3718c,3724a,3724b：光線束の中心光路
3716a～3716c：出力側可動ミラー 3720, 3722：基板
3700：光スイッチ

第8の実施の形態の光スイッチの例（光学素子はリレーレンズ）

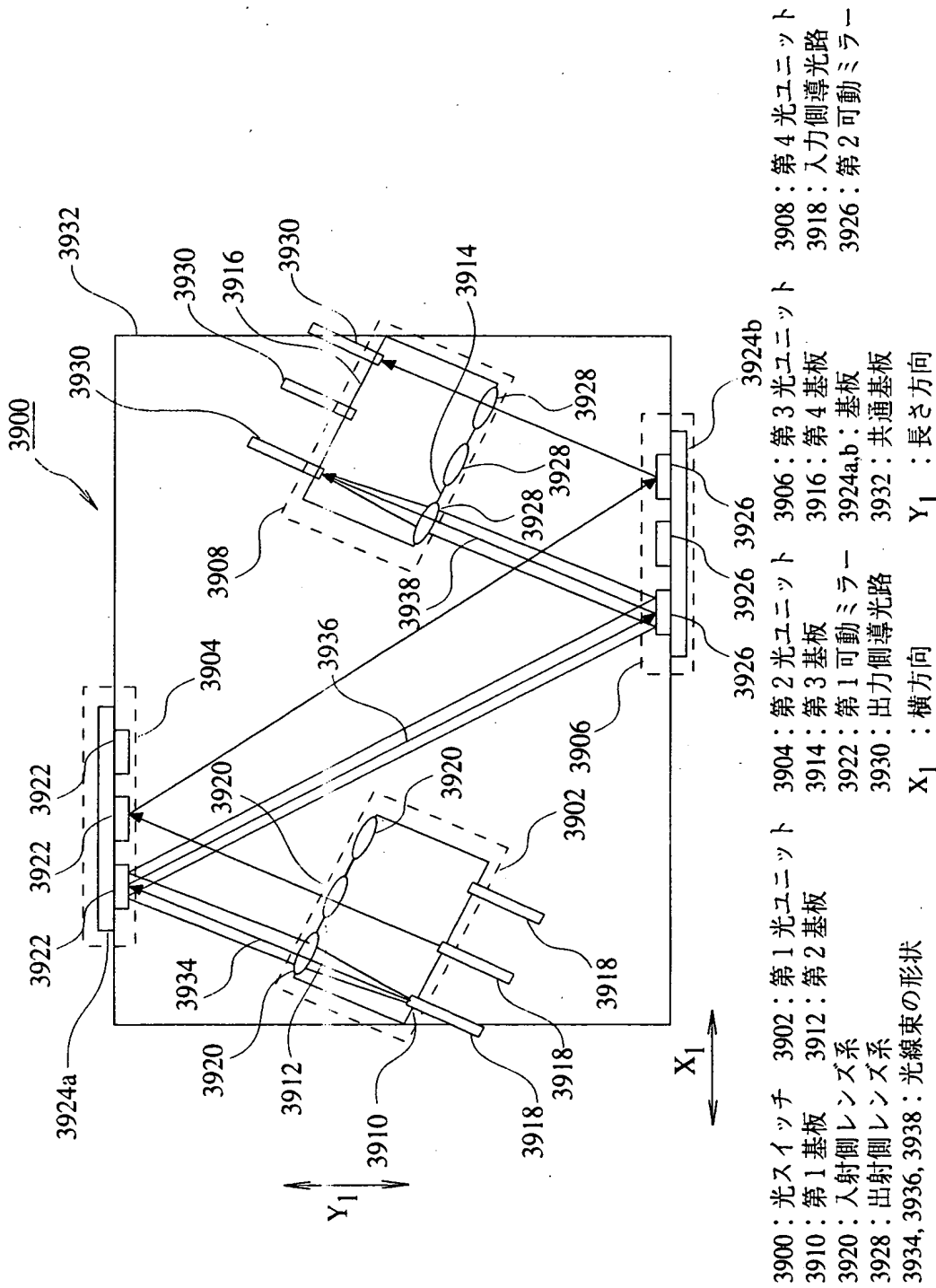
【図 3 8】



3800a～3800c：可動レンズ 3802：凸レンズ 3804a～3804c：光ファイバ 3806：光線束の中心光路
3808a, 3808b：光線束の形状 f_{38} ：可動レンズ3800aの焦点距離

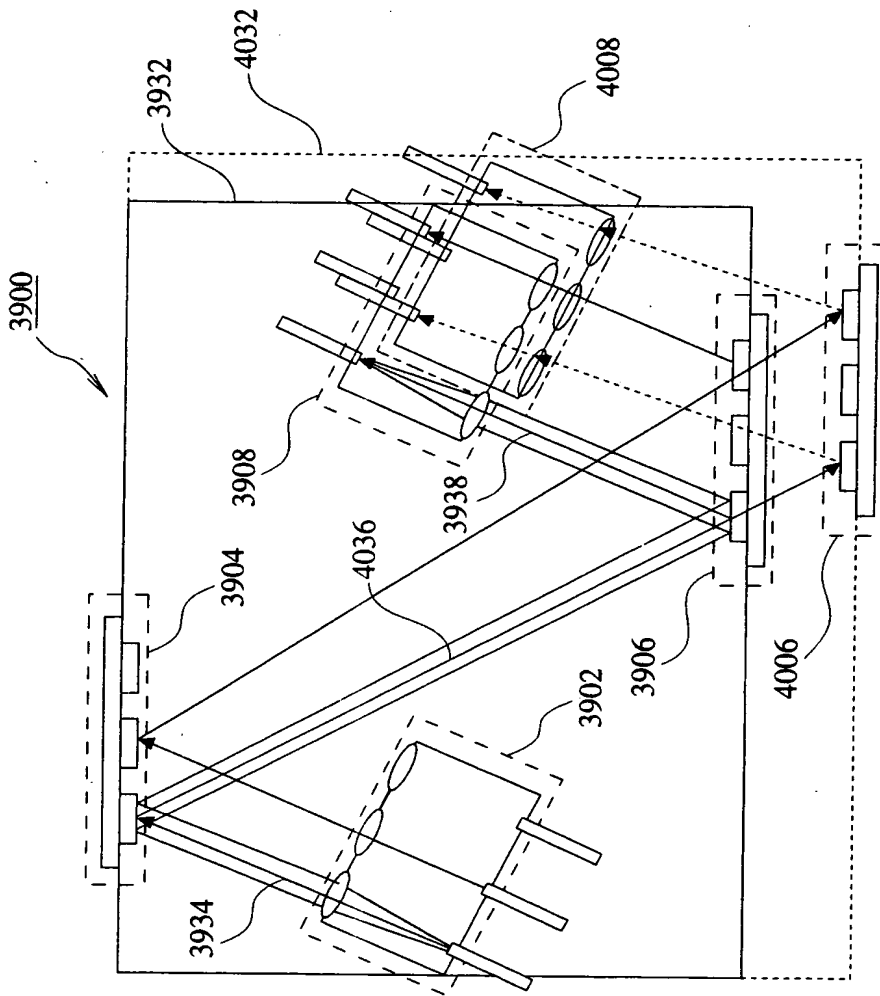
レンズ系に凸レンズを挿入した場合の動作例

【図 39】



第9の実施の形態の光スイッチの構成例

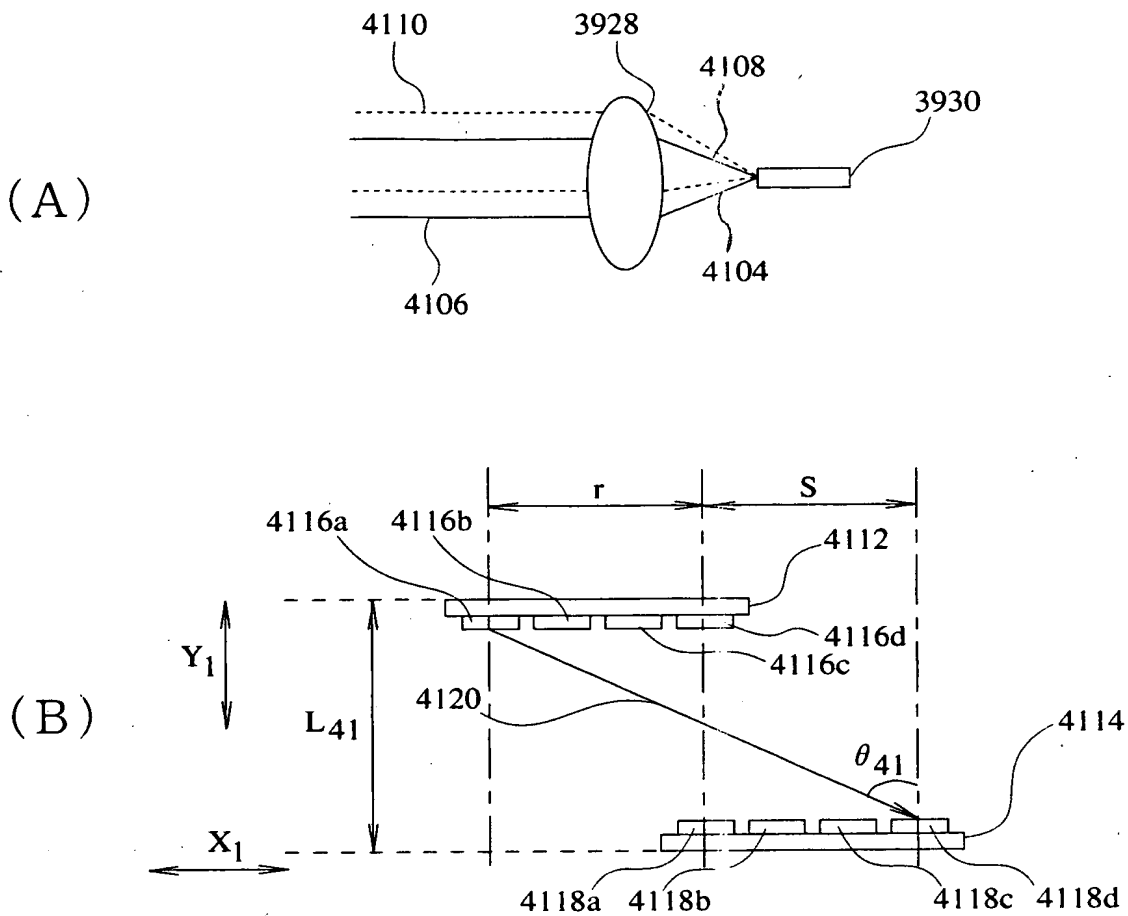
【図 4 0】



4006：熱膨張後の第3光ユニット 4008：熱膨張後の第4光ユニット 4032：膨張した共通基板
4036：熱膨張後の光線束の形状

第9の実施の形態の形態の動作例

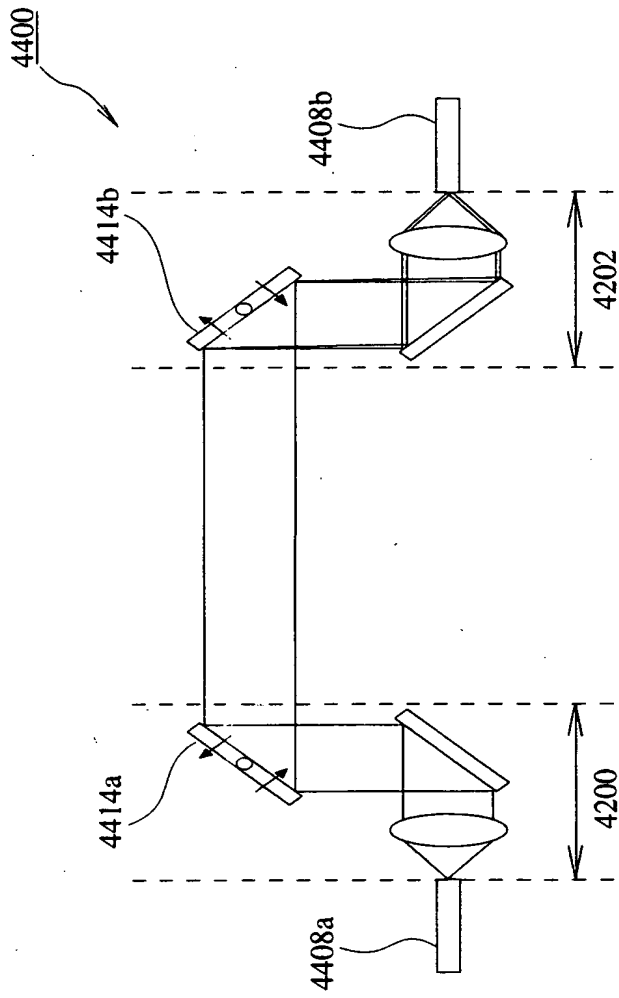
【図 4 1】



4104, 4106 : 光線束の形状	4108, 4110 : 熱膨張後の光線束の形状
4112, 4114 : 基板	4116a ~ 4116d : 第 1 可動ミラー
4118a ~ 4118d : 第 2 可動ミラー	4120 : 光線束の中心光路

第 9 の実施の形態における動作例

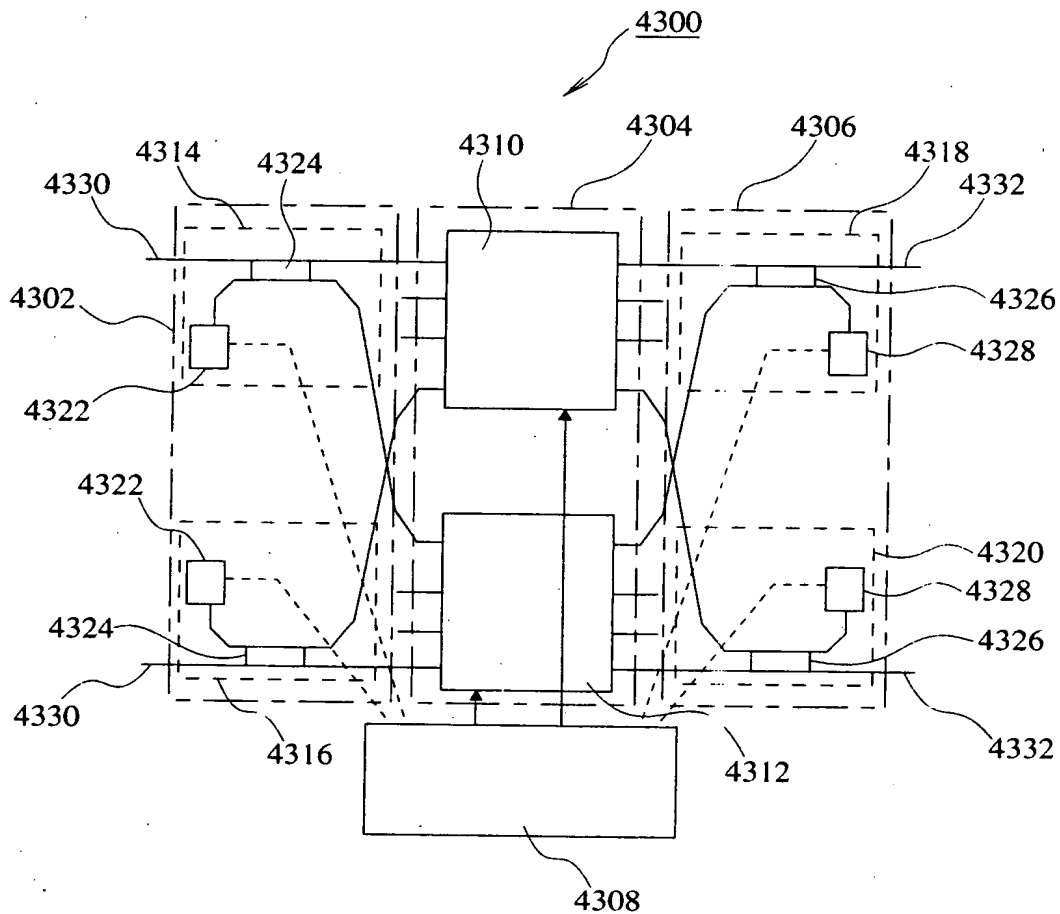
【図 4 2】



4200：入力側スイッチ要素 4202：出力側スイッチ要素

第 1 0 の実施の形態の形態の動作例

【図 4 3】

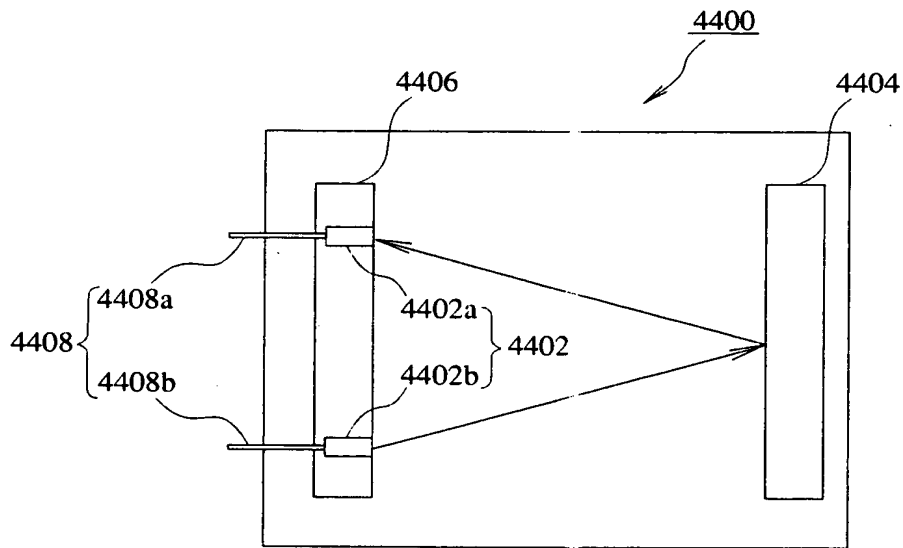


- | | |
|---------------------|--------------------|
| 4300：光スイッチ装置 | 4302：スイッチング用可動部 |
| 4304：光スイッチ | |
| 4306：モニタ部 | 4308：動作制御部 |
| 4310：第1の光スイッチ | 4312：第2の光スイッチ |
| 4314：第1の光信号導入手段 | 4316：第2の光信号導入手段 |
| 4318：第1の光信号出力手段 | |
| 4320：第2の光信号出力手段 | |
| 4322：監視用信号出力源 | 4324：信号合成部（入力側カプラ） |
| 4326：光信号分配部（出力側カプラ） | |
| 4328：モニタ | 4330：入力側導光路 |
| 4332：出力側導光路 | |

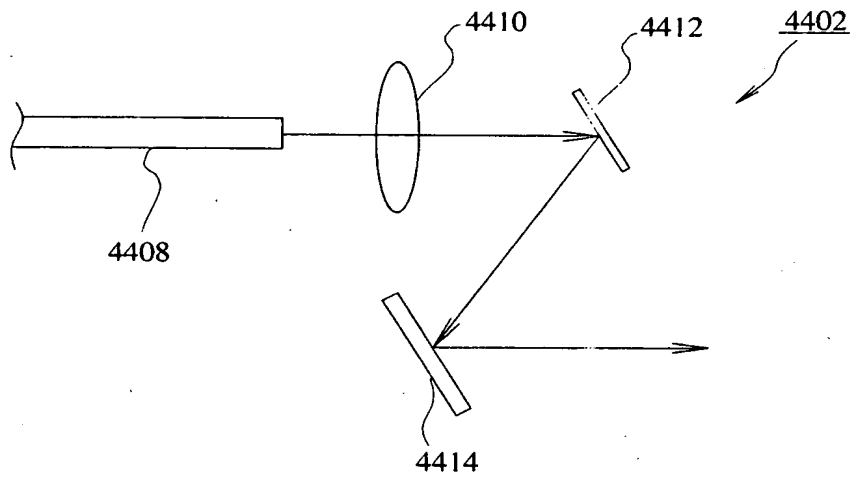
第 1 0 の実施の形態の構成例

【図 4 4】

(A)



(B)



- | | | |
|---------------|------------|----------|
| 4400：従来の光スイッチ | 4402：光偏向素子 | 4404：ミラー |
| 4406：基板 | 4408：光ファイバ | |
| 4410：コリメートレンズ | 4412：固定ミラー | |
| 4414：可動ミラー | | |

従来の光スイッチの構成例

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 空間を伝搬する光ビームの偏向角度の設定を、良好な精度で行う。

【解決手段】 光スイッチ 2 6 は、複数個の光入力ポート 1 0 を有する入力側スイッチ要素 1 2 と、複数個の光出力ポート 1 4 を有する出力側スイッチ要素 1 6 とを備える。入力側スイッチ要素は、光入力ポートの各々に、2 個の光偏向素子 1 8 a および 1 8 b からなる入力側光偏向素子群 2 0 を備える。これら光偏向素子は、光入力ポートに入射される光信号の入射方向に沿って配置される。出力側スイッチ要素は、光出力ポートの各々に、2 個の光偏向素子 2 2 a および 2 2 b からなる出力側光偏向素子群 2 4 を備える。これら光偏向素子は、光出力ポートから出射される光信号の出射方向に沿って配置されている。

【選択図】 図 1

特 2 0 0 1 - 1 4 2 3 7 0

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 1 - 1 4 2 3 7 0
受付番号	5 0 1 0 0 6 8 6 4 9 6
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0 0 9 0
作成日	平成 1 3 年 5 月 1 6 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】 平成13年 5月11日

次頁無

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000000295]

1. 変更年月日 1990年 8月22日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都港区虎ノ門1丁目7番12号

氏 名 沖電気工業株式会社